



Risøs indsats i forbindelse med Energiministeriets forskningsprogrammer. Status ultimo december 1989

Christensen, Peter Skjerk; Brown Jørgensen, B.

Publication date:
1990

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Christensen, P. S., & Brown Jørgensen, B. (Eds.) (1990). *Risøs indsats i forbindelse med Energiministeriets forskningsprogrammer. Status ultimo december 1989*. Risø National Laboratory. Risø-M No. 2880

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

DK 90000 85

RISØ

Risø-M-2880

Risøs indsats i forbindelse med Energiministeriets forskningsprogrammer

Status ultimo december 1989

Redigeret af P. Skjerk Christensen og Birgitte Brown Jørgensen

**Forskningscenter Risø, 4000 Roskilde, Danmark
Juli 1990**

Risøs indsats i forbindelse med Energimisteriets forskningsprogrammer

Risø-M-2880

Status ultimo december 1989

Redigeret af P. Skjerk Christensen og Birgitte Brown Jørgensen

*Forskningscenter Risø, 4000 Roskilde, Danmark
Juli 1990*

Abstract. Risø har siden 1978 haft ansvaret for mange projekter under de energiministerielle forskningsprogrammer. I denne rapport, der vedrører aktiviteten i 1989, gives en status for igangværende og en omtale af afsluttede projekter, dels ved en almen beskrivelse af arbejdet, dels med en summarisk omtale af de opnåede resultater. En nøjere gennemgang af mange projekter kan findes i referencelisten. Sluttelig omtales Risøs bidrag til organisation og administration af energiforskningsprogrammerne.

ISBN 87-550-1659-6
ISSN 0418-6435

Grafisk Service, Risø, 1990

Indholdsfortegnelse

Indledning 5

1. Kulbrinter 6

- 1.1. Geokemiske kriterier for reservoirkvalitetsvariationer i Nordsøkalk 6
- 1.2. Temperatur-tidsvariationer i Nordsø Centralgrav sedimenter belyst via fissionssporstudier af udvalgte borekerner 6
- 1.3. Flerfasestrømning i opsprækkede kalkreservoir 7
- 1.4. Datamatunderstøttet bestemmelse af relativ permeabilitet ved dynamiske fortrængningsforsøg 7
- 1.5. Forenklet kompositionel reservoirsimulering 7
- 1.6. Severe slug i to-fase ledninger 8
- 1.7. Stor-skala laboratorieforsøg vedrørende to-fase olie-gas flow i rørledninger 8
- 1.8. Karakteriseringslaboratorium 10
- 1.9. Måling og beregning af PVT-egenskaber for olier og gasser fra danske felter 11

2. Biomasse 13

- 2.1. Værktøj til udvikling og vurdering af biomasse forgasningsreaktorer 13

3. El og varme 14

- 3.1. Anvendelse af jordbundskemimodel på skovjord 14
- 3.2. Grundlæggende forbrænding 15
- 3.3. Eksperimentelle undersøgelser i kulstøvsbrænder 17
- 3.4. Målinger til validering af avanceret laserbaseret måleudstyr og EDB-modeller for kulstøvsanlæg 18
- 3.5. Computer modellering af kulforgasningssystemer 18
- 3.6. Udvikling af EDB-model for stationær turbulent tredimensional gas-partikel strømning 19
- 3.7. Afprøvning og verifikation af laserbaserede metoder 21

4. Vindenergi 27

- 4.1. Vindkraftteknologisk udviklingsarbejde for vindmøller 27
- 4.2. Rotorærodynamik 27
- 4.3. Lastgrundlag og dimensionering (Strukturel mekanik og levetid) 29
- 4.4. Design af to-bladet mølle 30
- 4.5. Vind/diesel systemer 30
- 4.6. Programpakke til strukturel dimensionering af vindmøller 32
- 4.7. Vindprofil over kystnære områder 32
- 4.8. Feltmålinger i vindmølleparker 33
- 4.9. Gust estimering 35
- 4.10. Vindenergipotential 36

6. Energianvendelse i industrielle processer 39

- 6.1. Energiproblemer ved drift af rensningsanlæg i kuldeperioder 39

8. Energilagring 40

- 8.1. Tyndfilmelektroder 40
- 8.2. Tynde faststofelektrolytter på reaktive anoder 40

8.3	Lithiumakkumulator	40
8.4	Udvikling af keramiske superledere	41
8.5	Brenselscelle med iltionledende faststofelektrolyt	42
9	Internationalt samarbejde	45
9.1	Fusion	45
10	Udvalgte områder	47
10.1	Spredning af informationer om dansk energiforskning og teknologi	47
10.2	Udvikling af model for varme- og elproducerende energisystemer	48
10.3	Præsentation af EFP-projektresultater på olie/gas området for olieselskaber og offshorevirksomheder	49
	Ressourcer	50
	Referenceliste	56

Indledning

Udbygningen af dansk energiforskning er siden 1976 sket gennem 2 handelsministerielle og 10 energiministerielle programmer, hvortil der er bevilget 1.35 mia kr. Forskningscenter Risø har som projektledende institution fået ansvaret for ca. 18% af disse midler.

Risøs engagement i energiforskningsprogrammerne spænder over et bredt felt, og i denne rapport gives en beskrivelse af aktiviteterne i fortsættelse af tidligere beskrivelser (se referencelisten).

Risø har løbende bidraget til den organisation, der planlægger, styrer og vurderer programmerne. Dette engagement omtales også kort.

Overvejelser vedrørende Risøs faglige og organisatoriske baggrund for at påtage sig forskningsprojekter i forbindelse med de energiministerielle forskningsprogrammer samt Risøs mulige indsatsområder i de kommende programmer er ikke behandlet i denne faglige statusrapport. Disse overvejelser finder løbende sted i forbindelse med Risøs programlægning.

Status for Risøs EFP-aktiviteter

I det følgende gives først en række beskrivelser af de projekter, der gennemføres på Risø som dele af de energiministerielle programmer. Dernæst bringes en række oplysninger om de ressourcer, der er tildelt aktiviteterne fra energiforskningsprogrammerne. For overskuelighedens skyld er aktiviteterne grupperet, opstillet og nummereret i den rækkefølge, der benyttes i Energiforskningsprogram 89 fra Energiministeriet.

Mange projekter har været omtalt i de tidligere statusrapporter og er derfor kun omtalt summarisk i denne rapport, mens nyere projekter har fået en mere detaljeret omtale. Endelig er enkelte afsluttede projekter blevet udførligt beskrevet med resumé af de væsentligste resultater. For flere projekters vedkommende kan yderligere information hentes i referencelisten.

Det vil fremgå af beskrivelsen af projekterne og af referencelisten, at selv om hovedvægten af indsatsen er lagt på energiudvinding, -konvertering, -lagring og -anvendelse, så er miljømæssige forhold et centralt emne for en række af forskningsprojekterne især for områderne forbrændingsprocesser, spredning af forbrændingsprodukter og kemiske forhold i jordbunden.

I en rapport som denne, som berører et stort spektrum af fagdiscipliner, bruges en mængde fagudtryk og forkortelser, der er specifikke for den pågældende disciplin. Anvendelsen anses for nødvendig for at give en nøjagtig beskrivelse af emnet. I nogle tilfælde er disse udtryk og forkortelser forklaret, men teksten ville blive for tung, hvis der i alle tilfælde skulle indføjes en forklaring.

Det skal slutteligt bemærkes, at de beskrevne aktiviteter kun vedrører energiforskningsprogrammerne til og med EFP-89, samt at de i 1989 gældende afdelingsbetegnelser er benyttet.

Forskningsprogram 1: Kulbrinter

1.1. Geokemiske kriterier for reservoirkvalitetsvariationer i Nordsøkalk. (EM j.nr. 1313/85-5)

Projektet, som går ud på at sammenligne geokemiske variationer i borekerner fra Tyra gasfeltets centrale og marginale dele med petrofysiske parametre, der udtrykker reservoirkvalitet (porøsitet, permeabilitet), afsluttedes i 1989. Den endelige rapport over arbejdet findes i Risø-M-2779.

Rapporten konkluderer, at kvalitetsvariationerne i Tyra gasreservoiret først og fremmest skyldes silicificering af karbonater. Processen er mest tydelig (meget høje Si indhold) i reservoirenhederne LDP og UDT. Silicium diagenese sker oftest ved lave temperaturer via opløsning af Si-rige planktonskeletter og gensættning fra opløsningen i form af kvarts på mineralkorn. Forringelse af reservoirkvaliteten i de to nævnte reservoirenheder er derfor sket på et relativt tidligt tidspunkt under aflejringen af kalksedimenterne.

Som et vigtigt resultat af projektet kan bl.a. nævnes, at indholdet af sporelementet mangan i kalk kan bruges som stratigrafisk værktøj (kemostratigrafi). Ved at bestemme Mn indholdet i en Tyra kalkprøve er det muligt at afgøre, hvilken reservoirenhed prøven kan tilordnes.

1.2. Temperatur-tidsvariationer i Nordsø Centralgrav sedimenter belyst via fissionssporstudier af udvalgte borekerner. (EM j.nr. 1313/88-7)

Formålet med projektet er at estimere temperaturtidsvariationer i danske sedimentbassiner via analyse af spontane fissionsspor (FT) fra uran i mineralet apatit. Estimering af temperatur tidsrelationerne (paleovarmeflux) er af afgørende betydning i bassinanalyse og -modellering. Anvendelsen af FT-metoden, som er en uafhængig og alternativ fysisk metode til den mest benyttede kemiske metode (måling af vitrinit reflektans), har i de senere år fået større betydning.

Det praktiske arbejde (prøvetilberedning, mikroskopi og følgende evaluering) foregår i FT laboratoriet på Geologisk Centralinstitut, Københavns Universitet, mens projektets modelleringsarbejde gennemføres på Risø.

I 1989 gennemførtes de fleste FT målinger på materialet fra borerne D-1, Q-1 og A-2 (Central Graven), og der er påbegyndt undersøgelser på prøver fra borerne Mors-1 (Dansk subbassin).

De øverste prøver fra de tre borehuller viser middelsporlængder på ca. 12 μm og en skæv fordeling til lavere sporlængder. De repræsenterer kildebjergarterne til sedimenterne, og pga. den skæve fordeling har de sandsynligvis været udsat for hævnning før aflejringen. Aldersbestemmelser via FT er ikke afsluttet, men er vigtige ved den endelige tolkning af resultaterne.

Middelsporlængderne aftager med dybden i borehullerne. Således reduceres middelsporlængderne fra 1 til 2 km's dybde med ca. 5% for D-1 og A-2. For Q-1 starter sporlængderreduktionen på større dybder (2 km); reduktionen er på ca. 5% ned til ca. 5 km's dybde. For Q-1 er der i ca. 5 km's dybde ingen fissionsspor i apatit tilbage, dvs. temperaturen har været større end ca. 130°C.

1.3. Flerfasestrømning i opsprækkede kalkreservoir. **(EM j.nr. 1313/86-70)**

Projektet sigter mod en forståelse af fortrængningsprocesserne ved indvinding af olie og gas fra opsprækkede reservoirer. Projektet sigter specielt mod en beskrivelse af koblingen mellem sprækkesystem og matrix, som er egnet til brug for reservoirsimulering i feltskala, hvor hensynet til regnetiden nødvendiggør en grov netinddeling. Projektet er mere detaljeret beskrevet i ref. 1.3.1.

Risø's del af projektet er afsluttet i 1989 og er rapporteret i »Simulation of matrix fluid displacement in fractured reservoirs« (Risø-M-2810, juni 1989).

Projektet er gennemført i samarbejde mellem DGU, laboratoriet for Energiteknik (DTH) og Risø, med projektledelsen hos DGU.

Arbejdet på emneområdet videreføres på Risø i et igangværende licentiatprojekt: »Oliefortrængning i opsprækkede reservoirer«.

1.4. Datamatunderstøttet bestemmelse af relativ permeabilitet ved dynamiske fortrængningsforsøg. (EM j.nr. 1313/87-3)

Projektet sigter mod en forbedring af eksisterende metoder til måling af relative permeabiliteter.

Relativ permeabilitet måles i laboratoriet på kernemateriale ved stationære målinger, der er meget tidskrævende, eller ved transiente målinger, der er meget hurtigere, men som stiller større krav til fortolkningen. Denne tænkes her gennemført med støtte af fortrængningsmodeller implementeret på den datamat, der anvendes til opsamlingen af måledata.

En metode til bestemmelse af relative permeabiliteter, kendt fra litteraturen, er programmeret og implementeret hos DGU. En ny model baseret på bestemmelse ved regressionsanalyse er ligeledes udviklet og implementeret hos DGU. Metoderne er under afprøvning hos DGU og to rapporter til beskrivelse af metoderne er under udarbejdelse.

Projektet, der udføres i samarbejde mellem Risø, Laboratoriet for Energiteknik (DTH) og DGU, afsluttes i foråret 1990.

1.5. Forenklet kompositionel reservoirsimulering. **(EM j.nr. 1313/88-9)**

Projektet sigter mod udviklingen af en metode til at reducere regnetiden for kompositionel reservoirsimulering.

For en simulering af nogle indvindingsforløb, herunder indvinding ved en række indvindingsforbedrende metoder, er en kompositionel beskrivelse nødvendig for på rimelig måde at simulere forløbet. Da regnetiden for simuleringen vokser hurtigt med antallet af komponenter, der anvendes ved simuleringen, er det vigtigt at kunne afgøre, hvor mange komponenter (pseudo-komponenter) der er nødvendige for løsningen af det konkrete reservoirproblem.

Et nyt flashmodul er udviklet, og en procedure for fremgangsmåden til fastlæggelse af det mindste antal komponenter er under afprøvning på eksempler.

Efter litteraturstudier blev der opstillet specifikationer for et nyt flash-modul samt påbegyndt en modifikation af et eksisterende modul. En overordnet

procedure for fremgangsmåden ved fastlæggelse af det mindste antal pseudo-komponenter blev opstillet, ligesom to eksempler til afprøvning af metoden er valgt.

Arbejdet baseres på anvendelsen af den kompositionelle reservoirsimulator, COSI. De udviklede metoder er dog helt generelle og vil kunne anvendes i forbindelse med enhver kompositionel simulator samt med forskellige flash-modeller og karakteriseringsprocedurer.

Projektet, der er startet i samarbejde mellem Risø og Dancomp A/S, foregår nu i et samarbejde med Cowiconsult. Projektet ventes afsluttet i 1990.

1.6. Severe slug i to-fase ledninger. (EM j.nr. 1313/89-13)

Et kombineret teoretisk og eksperimentelt studium til undersøgelse af strømningsskemaerne i to-fase rørledninger, hvori der optræder slug flow, er igangsat som et fælles projekt af Forskningscenter Risø, LICconsult og Institutet for Strømningsteknik og Vandbygning, (ISVA), DTH.

Den eksperimentelle del af dette projekt udføres i ISVA's nye store to-fase forsøgsrig, der er opstillet i instituttets forsøgshal. Forsøgsopstillingen er bygget af rør med en indre diameter på 90 mm. Forsøgsstrækningen, der er 100 m lang, er gennemsigtig, således at strømningsskemaet kan studeres visuelt.

Hældningen af forsøgsstrækningen kan varieres inden for de 5 m, der er til rådighed mellem gulv og loft. Det er endog muligt at udnytte yderligere 3 m ved også at tage kælderetagen i brug.

Forsøgsopstillingen kan betjenes fra en mobil kontrolstation, som kan anbringes på en række punkter langs den 100 m lange forsøgsstrækning.

ISVA har udarbejdet et computerstyret dataopsamlingssystem, som opsamler driftsdata fra forsøgsopstillingen og lagrer disse på harddisk og/eller disketter for videre bearbejdning senere.

Risø har installeret specielle forsøgsmåleflanger med instrumenter og har udviklet et dataopsamlingssystem til disse målinger.

Forsøgsopstillingen var ved årsskiftet 89/90 under indkøring. Det egentlige forsøgsmåleprogram forventes udført i løbet af foråret 1990.

1.7. Stor-skala laboratorieforsøg vedrørende to-fase olie-gas flow i rørledninger. (EM j.nr. 1313/88-13)

Et kombineret teoretisk og eksperimentelt studium af omslaget mellem strømningsskemaerne lagdelt strømning og slug flow er blevet udført som et fælles projekt af Forskningscenter Risø, LICconsult og Institutet for Strømningsteknik og Vandbygning, (ISVA), DTH.

Eksperimenterne er udført i en forsøgsfacilitet placeret hos ISVA. Forsøgsopstillingen er 50 m lang med en forsøgsstrækning på 36 m og en indre diameter på 90 mm. Forsøgssektionen er gennemsigtig på visse strækninger, således at strømningsskemaet kan iagttages visuelt. På fig. 1.7.1. er vist principdiagrammet for forsøgsopstillingen.

Eksperimenterne er udført med vand/luft blandinger i en vandret forsøgssektion.

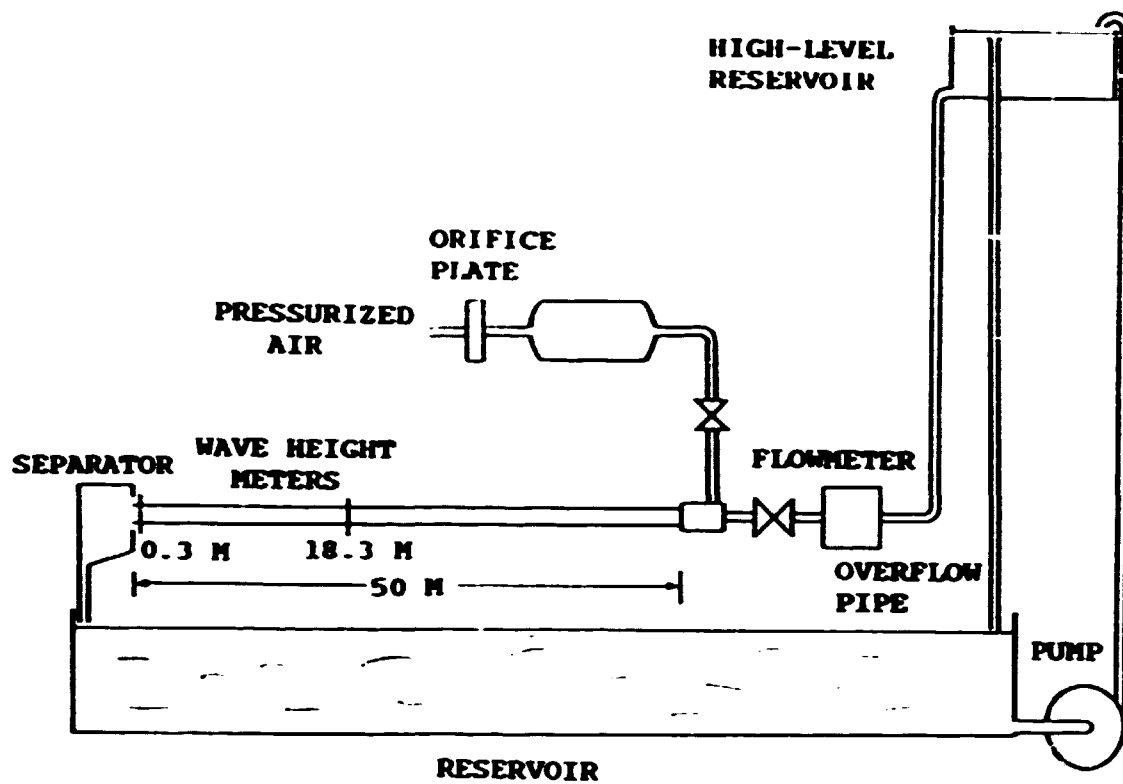
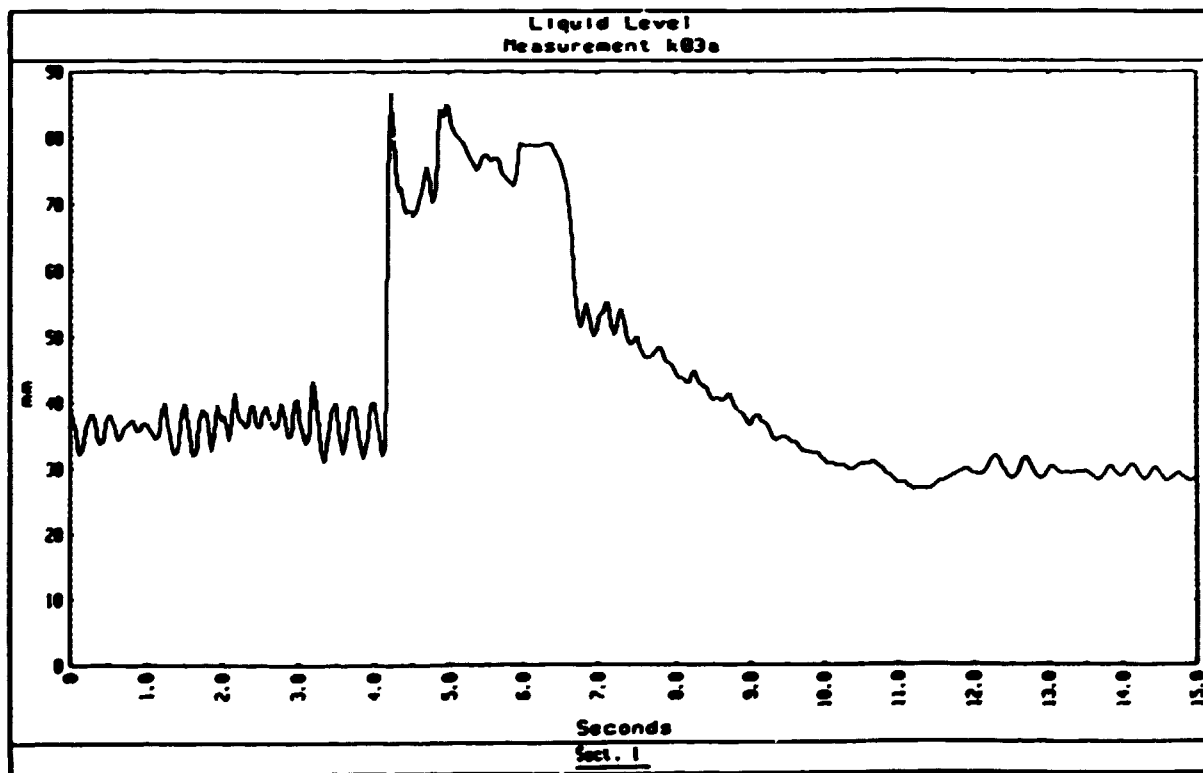


Fig. 1.7.1. Principdiagram af forsøgsopstilling.

Fig. 1.7.2. Slag passage. Bolgehøjde som funktion af tid.



Specielt til dette projekt er der konstrueret en elektrisk niveaumåler, som på objektiv måde kan bestemme bølgemønstret i strømmingen.

Risø har instrumenteret forsøgsopstillingen og forsynet den med et computerstyret dataopsamlingsystem. Alle måleresultater er blevet opsamlet på disketter for senere bearbejdning.

På fig. 1.7.2. er vist et typisk plot af bølgehøjden som funktion af tiden i forsøgssektionen ved passage af en slug. Før sluggen er der temmelig store bølger på væskeoverfladen, ved slugpassagen er tværsnittet helt væskefyldt, mens der umiddelbart efter sluggen kun er meget små bølger.

Det eksperimentelle arbejde er fulgt op af en teoretisk undersøgelse udført af firmaet LICconsult.

Forsøgsprogrammet blev afsluttet i efteråret 1989. Ved årsskiftet var slutrapporten under udarbejdelse og udsendes som Risø-M-2818.

1.8. Karakteriseringslaboratorium. (EM j.nr. 1313/86-8)

Formålet med dette projekt har været at færdiggøre opbygningen af det laboratorium til eksperimentel karakterisering af kulbrinter (olie/gas), som blev påbegyndt under EFP-85.

Eksperimentel karakterisering af kulbrinteblandinger har til formål gennem en række forskellige analyser af fysiske egenskaber og kemisk sammensætning at give detaljerede oplysninger om oliens/gassens egenskaber. Sammenholdt med supplerende målinger af volumetriske egenskaber og mætningskurver (PVT-analyser) danner den eksperimentelle karakterisering grundlag for en beregningsmæssig karakterisering og for simuleringer af PVT-egenskaber. En beregningsmæssig karakterisering tilpasset de eksperimentelle data vil dernæst kunne anvendes ved egentlige produktions- og procestekniske beregninger, idet modellen skulle kunne simulere oliens PVT-egenskaber under vidt forskellige forhold.

Gennem projektperioden er der opbygget et laboratorium med udstyr til de nødvendige analyser. For bestemmelse af de mere fysiske egenskaber drejer det sig om apparatur til fraktioneret destillation og til måling af massefylde og molvægt af stabiliseret råolie. Til analyse af den kemiske sammensætning er der anskaffet apparatur til gas- og størrelseskromatografi. Desuden er der indkøbt udstyr og programmer til opsamling og behandling af data fra de chromatografiske analyser vha. PC'er.

I forbindelse med indkøring af udstyr og indarbejdning af analysemetoder er der analyseret forskellige typer af stabiliserede råolier lige fra lette olier/kondensater fra Nordsøen (Statoil) til meget tunge olier (AGIP). Som et eksempel på de analyser, der er blevet arbejdet med, er nedenstående vist en serie kogepunktskurver for analyserede råolier af forskellig art. Disse kurver er resultater af TBP-analyser (true-boiling-point), hvor der ved fraktioneret destillation er målt sammenhængende værdier af kogepunkt og vægt af den opsamlede fraktion. Da der destilleres ved forskellig tryk (vacuum), er alle kogepunkter korrejeret til 1 atm.; heraf navnet true-boiling-point.

Det fremgår af figuren, at der er stor forskel på kurverne for de forskellige typer af olier; for den lette olies vedkommende kan ca. 80% destilleres, mens det for de tunge olier tilsvarende kun er 20-30%. Eller med andre ord: den temperatur ved hvilken f.eks. 25% af olien ville befinde sig i gasfasen, er meget forskellig for forskellige typer af olier. Tilsvarende kurver for f.eks. massefylde og molekylvægt afslører ligeledes store forskelle mellem tunge og

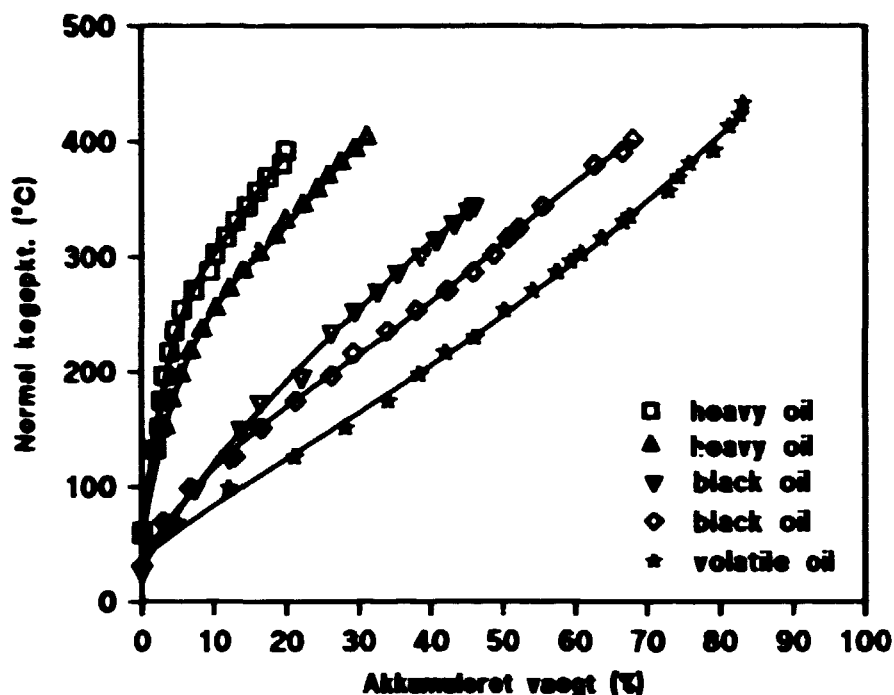


Fig. 1.8.1. TBP-analyser af råolier.

lette olier, og det er resultaterne fra disse analyser, som indgår i den beregningsmæssige karakterisering og i PVT-simuleringen.

Projektet er afsluttet i 1989, men via EFP-89 er der bevilget midler til et nyt projekt, hvor karakteriseringsanalyserne skal anvendes til en nærmere eksperimentel og modelmæssig karakterisering af olier og gasser fra danske felter. Projektet (se pkt. 1.9.) udføres i et samarbejde med Laboratoriet for Energiteknik, DTH.

1.9. Måling og beregning af PVT-egenskaber for olier og gasser fra danske felter. (EM j.nr. 1313/89-10)

Projektet, der er et samarbejdsprojekt mellem Laboratoriet for Energiteknik, DTH, og Kemiafdelingen, Rissø, har til formål at anvende den viden og de faciliteter, der er blevet opbygget ved de involverede laboratorier til en eksperimentel og modelmæssig karakterisering af kulbrinteblandinger fra en række udvalgte danske felter i Nordsøen. Der sættes herigennem på at opnå en detaljeret viden om olier og gasser fra danske felter, som efterfølgende vil kunne danne grundlag for produktions- og procestekniske beregninger.

I projektet vil der blive taget udgangspunkt i den eksperimentelle karakterisering af kulbrinteblandinger (olie/gas), som var formålet med opbygningen af et Karakteriseringslaboratorium ved Kemiafdelingen og i en modelmæssig beskrivelse af olien/gassen ved Laboratoriet for Energiteknik. Den modelmæssige karakterisering bliver baseret på procedurer udviklet ved Institut for Petroleumsteknologi, NTH, Trondhjem, og ved Institutet for Kemiteknik, DTH. Metoderne vil blive anvendt på data fra tilgængelige PVT-rapporter og

anvendt på data fra tilgængelige PVT-rapporter og fra den eksperimentelle karakterisering. Desuden vil resultaterne fra den beregningsmæssige karakterisering blive anvendt til den simulering af PVT-eksperimenter, som udføres ved Institutet for Kemiteknik, DTH. Disse simuleringer vil blive gennemført med programmet, der bygger på anvendelsen af kubiske tilstandsligninger. Som et led i simuleringen af PVT-egenskaber vil der ske en tilpasning af den anvendte karakteriseringsprocedure for at opnå den bedst mulige overensstemmelse med de eksperimentelle data.

Der er truffet aftale med Mærsk Olie & Gas om at stille olie- og gasprøver til rådighed for projektet.

Forskningsprogram 2: Biomasse

2.1. Værktøj til udvikling og vurdering af biomasse forgasningsreaktorer. (EM j.nr. 1383/89-4)

Formålet med projektet er, gennem indsamling af eksisterende data og teoretiske beregninger, at tilvejebringe et så stort kendskab til forgasning af biomasse, specielt halm, at der kan foretages en vurdering af de enkelte forgasningsreaktorers effektivitet.

Der er indledningsvis foretaget en litteraturundersøgelse, idet der er søgt efter både data for forgasning af halm og modelleringsrelevant litteratur.

De i litteraturen fundne data for halmforgasning er meget sparsomme, så det vil være nødvendigt at integrere reaktionskinetiske data for træflis i de matematiske modeller.

Der vil først blive opstillet en model for fluid bed forgasning af biomasse. Det er dog fundet, at der ved fixed bed forgasning af halm forekommer en så ustabil drift, at det vil være umuligt at modellere en sådan proces. Når der ikke længere eksisterer disse driftsproblemer, vil der også for denne type reaktor blive opstillet en matematisk model.

Forskningsprogram 3: El og varme

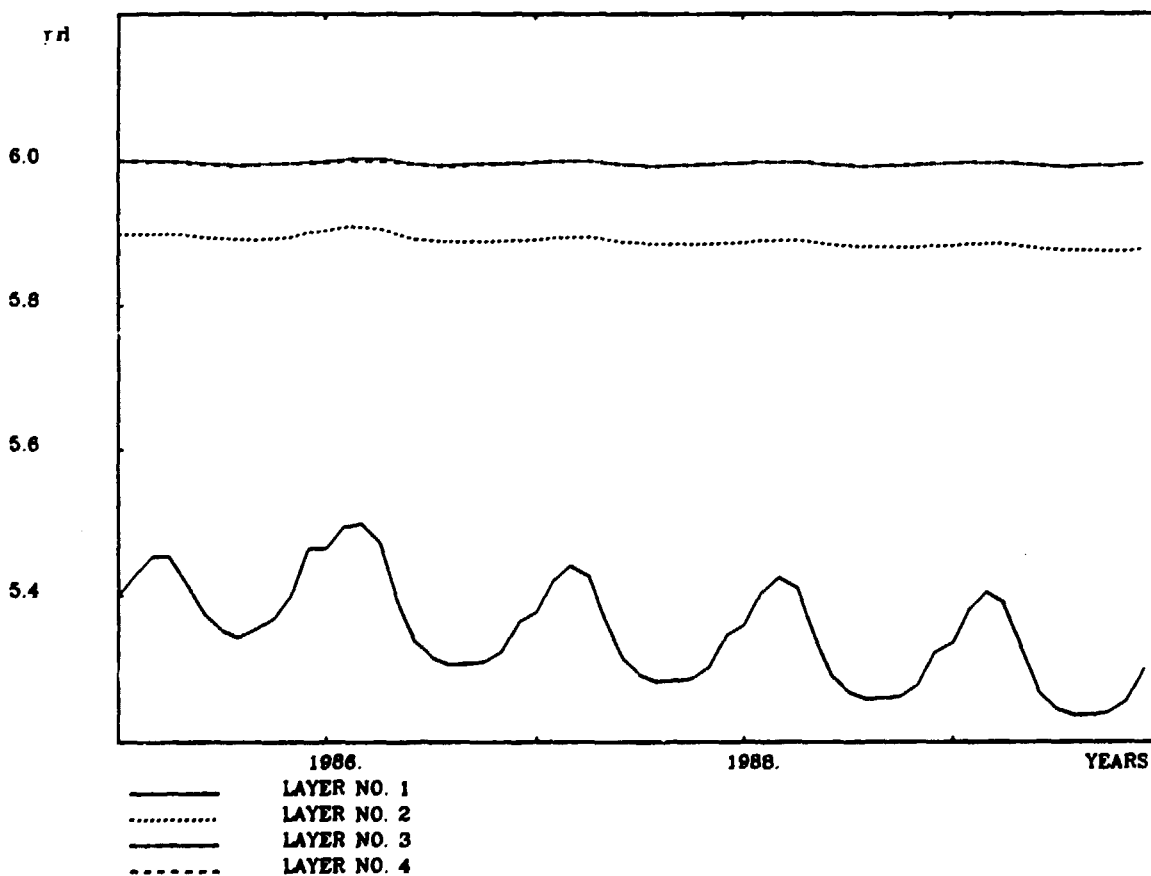
3.1. Anvendelse af jordbundskemimodel på skovjord. (EM j.nr. 1323/87-12)

I løbet af 1988 blev ECCES-modellen udvidet med et skovmodul, der på simpel vis simulerer de ændringer i sammensætning af regnvandet, som finder sted, når det kommer i kontakt med trækronerne og skovbunden. Med denne udvidelse kan modellen simulere luftforureningens indvirkning både på landbrugsjord og på skovjord.

Dette arbejde blev udført under EFP-85, og en nærmere beskrivelse kan findes i ref. 3.1.1. Arbejdet med modellen blev fortsat under EFP-87 projektet, som skal beskrives her. Dette projekt er en udvidelse af et igangværende projekt, hvor ionfluxen i skovsystemer studeres. Projektet bliver udført i samarbejde med Statens Forstlige Forsøgsvæsen og DMU (Luftforureningslaboratoriet).

Formålet med det nærværende projekt er dels at skaffe ekstra data, og dels at benytte disse i forbindelse med tidligere indsamlede data som input til ECCES-modellen for at kunne køre simuleringer. Hermed giver projektet en mulighed for at afprøve modellen på et »rigtigt« økosystem, hvilket både giver erfaring i at bruge modellen og mulighed for at verificere dens resultater.

Fig. 3.1.1. Jordlagene er nummereret oppefra, og tykkelsen er 25 cm for de tre øverste og 35 cm for det nederste.



Ved afslutningen af 1989 var der kørt en række simuleringer, men sammenligningen af modelresultaterne med de eksperimentelle data var endnu ikke afsluttet, hovedsaglig fordi de sidste prøver endnu ikke var blevet analyseret. På fig. 3.1.1. ses et eksempel fra en femårs simulering, hvor pH er vist for forskellige jordlag. Det ses, at det øverste jordlag har en betydelig variation i pH-værdien, mens den er relativt konstant for de øvrige lag. Dette er et resultat af den simulerede jordtypes forholdsvis høje bufferkapacitet.

Det var håbet, at disse eksperimentelle resultater kan bruges til at validere beregningerne for mikroelementer (tungmetaller), men desværre er koncentrationerne i vandprøverne så lave, at det har været umuligt at få pålidelige data. Det vil dog være muligt at sætte en øvre grænse, og således afgøre om modelresultaterne ligger i et rimeligt område.

Slutrapporten for projektet vil blive udgivet i starten af 1990.

3.2. Grundlæggende forbrænding. (EM j.nr. 1323/85-4)

Projektets formål er at skabe veldefinerede betingelser for opvarmning og forbrænding af kul og kokspartikler, således at grundlæggende forbrændingsparametre kan fastlægges. Desuden er det målet at anvende hhv. teste lasersystemer (specifikt Laser Doppler Anemometri (LDA)) på det opbyggede system.

Projektet er forløbet således: Der blev i 1986/1987 bygget en elektrisk opvarmet gassennemstrømningsovn med ovennævnte formål. Det er muligt at variere gassammensætningen i ovnen med et gasblandesystem, og til den omfattende dataopsamling er der fremstillet en software pakke.

Ved måling med LDA blev det fundet, at ovnen måtte ombygges på adskillige punkter for at kunne fungere tilfredsstillende. Der knytter sig fundamentale problemer til en laminarovnsopstilling: er betingelserne i ovnen fuldt laminare i hele forsøgssektionen, vil temperatur- og hastighedsfelter ikke være tilstrækkeligt veldefinerede til bestemmelse af reaktivitetsparametrene, men dette problem har vi nu fundet en løsning på.

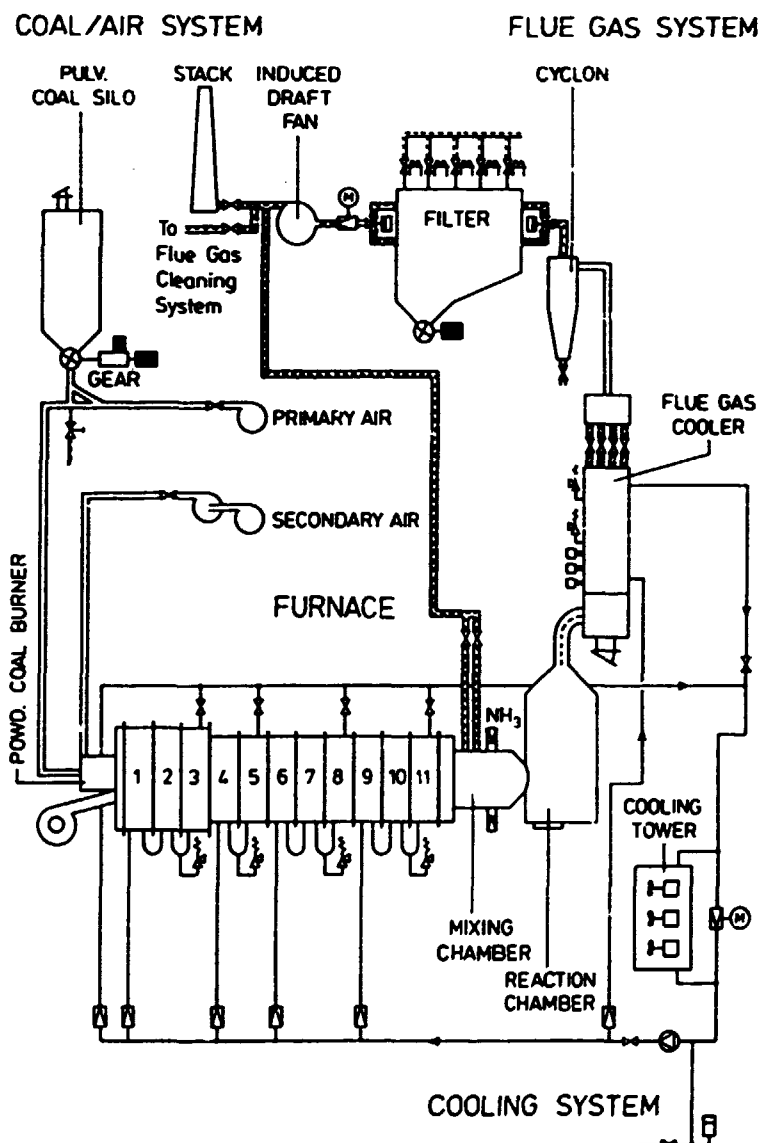
Der er i 1989 udført overensstemmende beregninger og målinger af gasflowet. Beregningerne er udført med »Teach-T« programmet, som er udviklet på Imperial College i London. Den fundne overensstemmelse giver anledning til optimisme for fremtidigt arbejde.

Risø deltager i en nordisk samarbejdsgruppe: »Nordisk Brændsels Reaktivitet«, i hvilken en koks fremstillet på Sintef i Norge har været anvendt som fælles prøve. Resultatet af den koksreaktivitetsanalyse, som Risø har udført vha. laminarovnen, indgår i den fælles nordiske sammenligning af resultater og viser sig spændende nok at være i overensstemmelse med Sintefs, VTT's og DK-tekniks resultater. At der for forskellige reaktortyper findes samme reaktivitetsdata for samme koks under anvendelse af den samme model, er af stor betydning for anvendelse af og sammenligning mellem fremtidige måleresultater.

LDA- og flowberegningsresultaterne vil blive søgt publiceret, ligesom de nordisk opnåede resultater vil blive publiceret i en fælles publikation.

Den eksperimentelle del af projektet anses for afsluttet, og rapportering er begyndt og ventes afsluttet i første kvartal 1990.

PULVERIZED COAL FIRED EXPERIMENTAL TUNNEL FURNACE



SYMBOL EXPLANATION

— Cooling Water Duct	--- Pressurized Air
== Air Duct	△ Explosion Vent
--- Flue Gas Duct	⊥ Solenoid Valve
⊥ Valve	⊗ Rotary Cell Lock
⊥ Safety Valve	⊞ Motor
⊥ Regulation Valve	⊞ Expansion Vessel
⊞ Motorized Regulation Valve	⊞ Centrifugal Blower
	⊞ Water Pump

Fig. 3.3.1. Det kulstøvsfyrte forsøgsanlæg.

3.3. Eksperimentelle undersøgelser i kulstøvsbrænder. (EM j.nr. 1323/87-1)

Dette projekt omfatter lokale målinger i nærbrænderfeltet for to kulstøvsbrændere. Brænderne vil være monteret på Risø's kulstøvsfyrede forsøgskedel.

En kulstøvsbrænder er ofte udformet, så forbrændingsluften tilføres en rotation. Derved dannes en recirkulerende strømning tæt ved brændermundingen. I denne strømning opblandes forbrændingsprodukter og kulstøv, hvorved kullet antændes, og der opretholdes en stabil flamme.

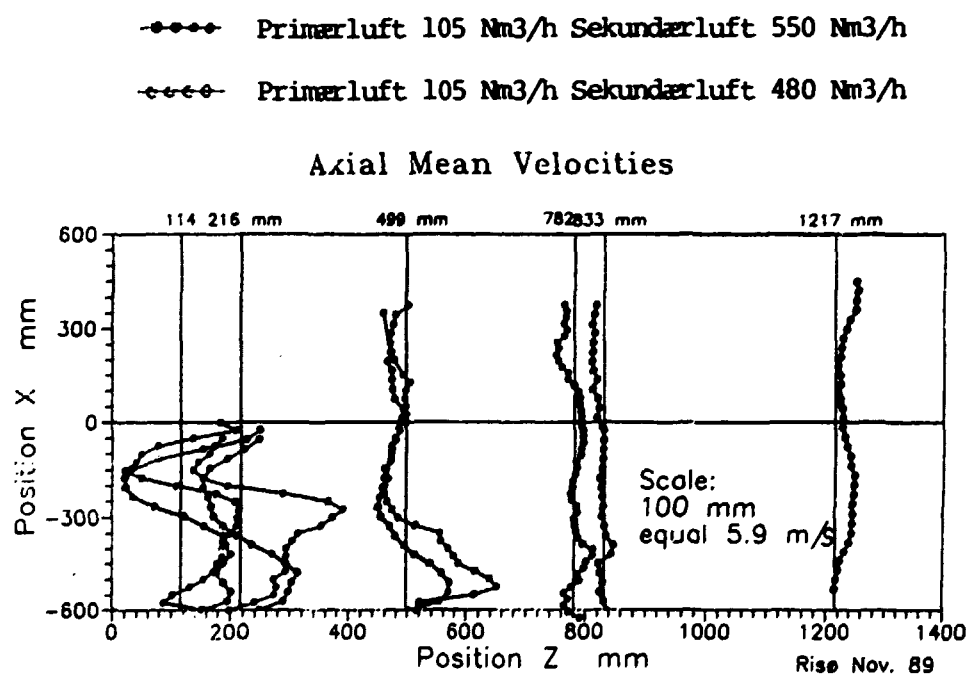
Nærbrænderfeltet har stor betydning for NO_x -dannelse, flammestabilitet og udbrændingsgrad.

Bygning af Risø's kulstøvsfyrede kedel fandt sted i 1988. Kedlen har en diameter på 1.2 meter og en længde på 4.5 meter og blev udstyret med en simpel 0.6 MW hvirvelstabiliseret brænder. Det samlede forsøgsanlæg består foruden kedlen af en kulstøvs mølle, blæser til fødeluft og et gasrensnings-system. Fig. 3.3.1. viser det samlede forsøgsanlæg.

Kedlen er udstyret med en computer til opsamling af driftsdata som luftflow, afsatte effekter, røggassammensætning samt kulfødecelle-slusens omdrejningstal.

I starten af 1989 blev det kulstøvsfyrede anlæg indkørt, og der blev udført målinger på 0.6 MW kulstøvsbrænderen omfattende målinger af udbrændingsgrad og røggassammensætningen som funktion af driftsforhold. Endelig er der udført LDA baserede hastighedsmålinger i to driftssituationer, som vist på fig. 3.3.2.

Fig. 3.3.2. LDA-målte hastigheder i kulstøvsbrænder.



3.4. Målinger til validering af avanceret laserbaseret måleudstyr og EDB-modeller for kulstøvsanlæg. (EM j.nr. 1323/89-20)

Den ene målsætning med projektet er at undersøge muligheder for og nøjagtigheden af laserbaserede målinger på kulstøvsfyrede forbrændingsanlæg. Dette vil i praksis ske ved at udføre lasermålinger på Risø's 1.4 MW kulstøvsfyrede forsøgskedel. Der vil blive målt hastigheder og partikelstørrelser ved hjælp af to typer LDA-udstyr, og gastemperaturer vil blive målt med CARS-teknik. LDA-målinger er baseret på det spredte lys fra partikler, medens CARS er en spektroskopisk teknik, hvor gastemperaturen findes på basis af brændstofmolekylerne energiniveauer.

Projektets anden målsætning er at fremskaffe data, der er velegnede til evaluering af globale EDB-modeller af kulstøvsfyr. Til disse målinger vil såvel katede prober som laserbaserede instrumenter blive anvendt.

I løbet af 1989 er følgende aktiviteter blevet udført:

En rapport er udarbejdet om de krav, der må stilles til målinger, for at disse er anvendelige til evaluering af EDB-modeller.

Ombygning af den kulstøvsfyrede forsøgskedel er startet for at sikre, at grænseparametrene er velbestemte, hvilket er nødvendigt, når der skal udføres målinger til modevaluering.

Der er i samarbejde med Harwell i England udført temperaturmålinger med CARS-teknikken i den kulstøvsfyrede kedel.

Der er udvalgt en EDB-model (FLUENT), og med den vil der blive udført en preliminær gennemregning af kedlen.

3.5. Computer Modellering af Kulforgasningssystemer. (EM j.nr. 1323/89-21)

Integreret kulforgasnings-kombianlæg, som på engelsk kaldes Integrated Coal Gasification with Combined Cycle (IGCC), er en lovende ny kulbaseret kraftværksteknik. I et IGCC-system bliver kullene forgasset i en højtryksforgasser under anvendelse af ilt og damp/vand. Den resulterende kulforgas renses for H_2S og forbrændes i en gasturbine, hvis varme udstødsgas producerer damp i en kedel, som føder en damp-turbine, se fig. 3.5.1. Som det kan ses, indeholder IGCC-systemet adskillige processer, såsom luftseparering, forgasning, gasrensning og turbiner, som alle må inkluderes i et IGCC-studie. En integreret proces som denne kan nemmest simuleres ved hjælp af eksisterende flow sheating programmer, blandt hvilke SEPSIM fra Institut for Kemi-teknik, DTH, er blev anskaffet.

Formålet med projektet er derfor dels at opbygge og modificere et modelværktøj, så det kan bruges til at simulere IGCC-processer, dels at anvende modelværktøjet til at optimere et IGCC-system.

For at anvende SEPSIM til at simulere IGCC-processer er det nødvendigt at tilføje proces-moduler, såsom forgassere og turbiner, som ikke findes i modelbiblioteket. En ligevægtsforgassermode, baseret på minimering af Gibbs energi med tilføjet energibalace, er blevet konstrueret til at forudsige masse- og energibalancer i forgasseren. Derudover er en turbinemodel, som anvender en isentropisk virkningsgrad, blevet konstrueret. Disse modeller vil blive kombineret med modeller for gasrensning og luftseparering, hvorved den totale IGCC-proces kan optimeres.

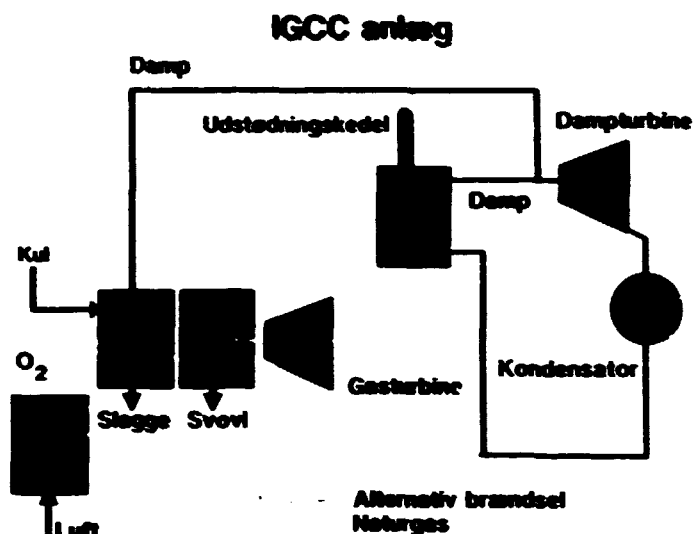


Fig. 3.5.1. Procesopbygningen af et IGCC anlæg.

3.6. Udvikling af EDB-model for stationær turbulent tre-dimensional gas-partikel strømning. (EM j.nr. 1433/85-10)

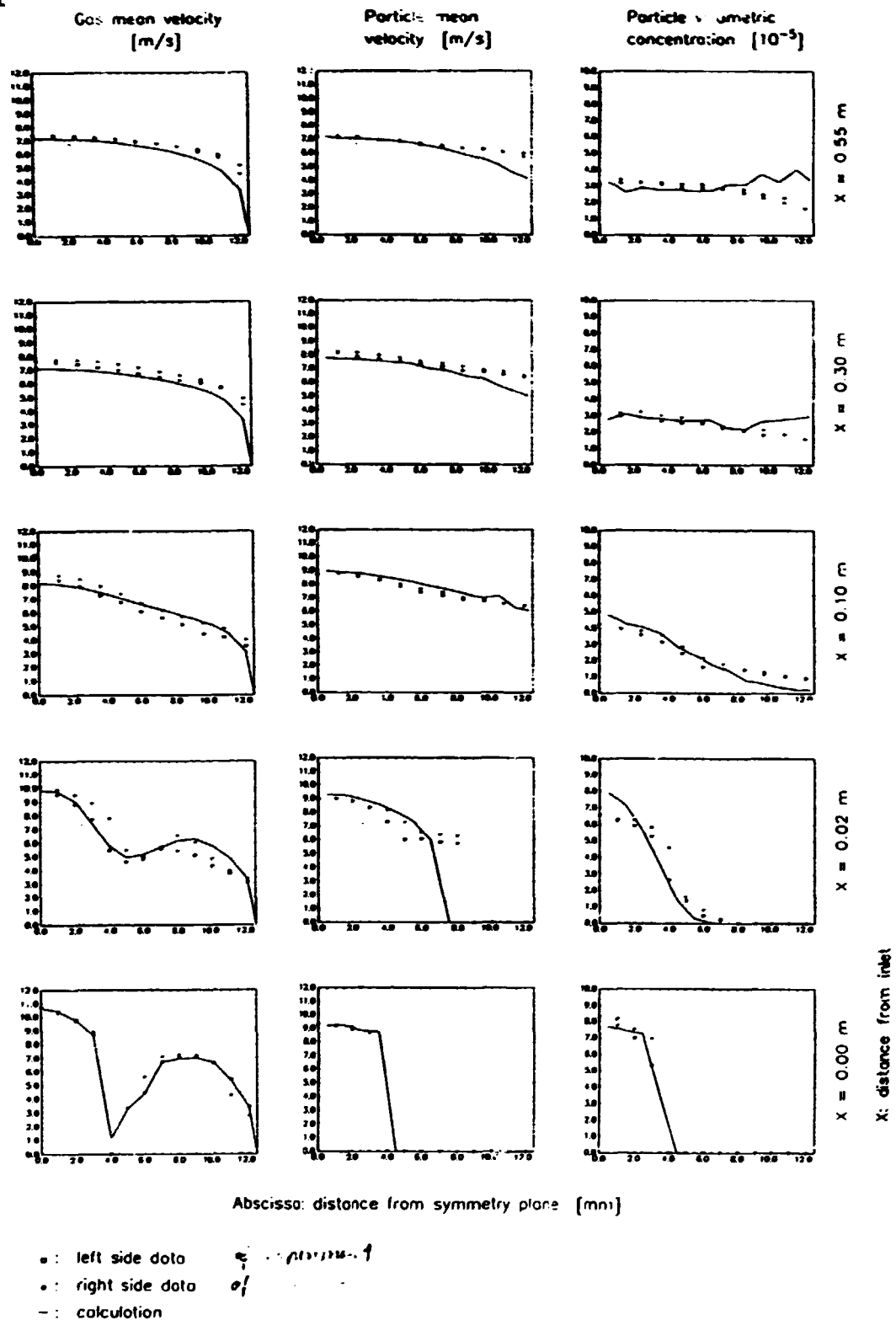
Med stigende anvendelse af kulstøvsfyrede kedler på kraftværker og i industri og med stigende krav til renhed af fyrenes affaldsprodukter, stiger behovet for beregningsmæssigt at kunne analysere konstruktionsmæssige såvel som driftstekniske og miljøtekniske tiltag. Et nødvendigt element dertil er en detaljeret fyrrumsmodel.

Formålet med projektet har været at udvikle et programkompleks, der kan beskrive forholdene i et kulstøvsfyr rimeligt detaljeret og dermed danne basis for de mere avancerede modeller, der bliver nødvendige for at imødekomme specielt de miljørelaterede behov. Et sådant programkompleks skal indeholde modeller til beskrivelse af gas og partikelstrømning, gaskomponentfraktioner og disses diffusion, partiklernes sammensætning og afgasning, homogen og heterogen forbrænding samt konvektiv og radiativ energiudveksling, alt under turbulente forhold. Mere avancerede modeller kan f.eks. vedrøre beskrivelse af NO_x dannelse, af tilslagning og af slaggelagets termiske egenskaber.

Projektet er udført i samarbejde med Laboratoriet for Varme- og Klimateknik, DTH, der har stået for gasstrømningsmodellen med tilhørende modeller for turbulens, diffusion og homogen forbrænding samt for udviklingen af en ny metode til beregning af varmestråling. På Risø har vi taget os af udviklingen af partikelstrømningsmodellen inkluderende en model for turbulent dispersion, og for afprøvning af det udviklede modelsystem mod data.

Gasstrømningsprogrammet kaldt TUFCA (TURbulent Flow CALCulations) er et finite element program, der tillader såkaldt body-fitting, dvs. beregningsdomænets grænser kan bringes til at følge kedeloverfladerne nøjagtigt. Det anvender den kendte $k-\epsilon$ model til turbulensbeskrivelsen, hvor k er den turbulente kinetiske energi og ϵ dissipationen af denne, og beskriver forbrænding af gas, idet såvel den reaktionskinetiske som den turbulente opblandings indflydelse på reaktionshastigheden er modelleret.

Plot 1



kun $x = 0, 05$

Fig. 3.6.1. Sammenligning af beregnede og målte data.

Partikelstrømningsprogrammet kaldet PAFCA (PARTicle Flow CALCulations) anvender Monte Carlo teknik og den såkaldte Lagrange'ske beregningsmetode, dvs. et statistisk set tilstrækkeligt stort antal partikler følges enkeltvis gennem beregningsdomænet under indflydelse af middelgasstrømmen og af turbulensen, idet sidstnævnte findes stokastisk fra en gaussfordeling med middelværdi nul og spredningen fundet ved gasstrømningsberegningen. Herved bliver turbulensens dispersive effekt modelleret. Momentudvekslingen med gassen opsummeres og skales med antallet af beregnede partikler og med ønsket partikelmassestrøm med henblik på indførelse af denne som kildeled i en efterfølgende gasstrømningsberegning.

Den nyudviklede strålingsberegningsmetode NIMREX (Numerical Integration Method of Radiative EXchange) bygger på en elegant formulering af varmestrålingsproblemet sammenholdt med en avanceret numerisk integration samt visse antagelser angående absorptionskoefficientens rumlige variation.

Gas/partikelflow programmerne er afprøvet mod data fra et tysk kanalfloweksperiment med et særdeles godt resultat for gasflowberegningen og et rimeligt godt for partikelberegningen, fig. 3.6.1.

Projektet har resulteret i syv delrapporter, der med en indledning, beskrivelse af projektførelsen og en kort beskrivelse af de enkelte delrapporter er samlet og udgivet som projektets slutrapport. Delrapporten om NIMREX modellen er endvidere publiceret i »International Journal of Heat and Mass Transfer«.

3.7. Afprøvning og verifikation af laserbaserede metoder. (EM j.nr. 1433/86-16)

Der er i de seneste år sket en øget anvendelse af laserbaserede målemetoder til undersøgelser i forbrændingsrum. Nærværende projekt skal belyse anvendeligheden af nogle af disse metoder i en kulstøvsflamme. Der er primært målt gas- og partikelhastighed i og omkring flammezonen på Risø's 2MW forsøgs-kedel under anvendelse af en kulstøvsflamme på 490 kW.

Projektet omfatter:

- samarbejde med SANDIA i USA om overførsel af viden om lasermetoder.
- bygning af en større kulstøvsfyret forsøgsovn.
- måling til verifikation af lasermålemetodernes anvendelighed og målenøjagtighed.

Ved 7 måneders udstationering i USA er pålideligheden undersøgt af et laserbaseret laboratorieudstyr til måling af partikelstørrelser af brændende dråber (ref. 3.7.5.). I denne forbindelse er der udført en teoretisk analyse af lysspredningen fra kugleformede partikler i feltet af to krydsende plane bølger (ref. 3.7.1. og 3.7.3.).

En kulstøvsfyret ovn, som er velegnet til udførelse af lasermålinger, er bygget og indkøbt. I fig. 3.7.1. er kedlen skitseret. Kedlen er opbygget af 11 sektioner, og har en diameter og længde på hhv. 1,2 m og ca. 4,5 m. Ovnens forsynet med et stort antal måleporte, og relevante driftsparametre opsamles elektronisk for at give et detaljeret billede af kedlens driftstilstand.

Målenøjagtighed og begrænsning af lasermålingerne mht. hastigheder er søgt verificeret ved undersøgelse af de enkelte fejlkilders indvirkning og fysik. Teoretiske overvejelser og eksperimenter er anvendt til beskrivelse af fejlkilderne og deres betydning.

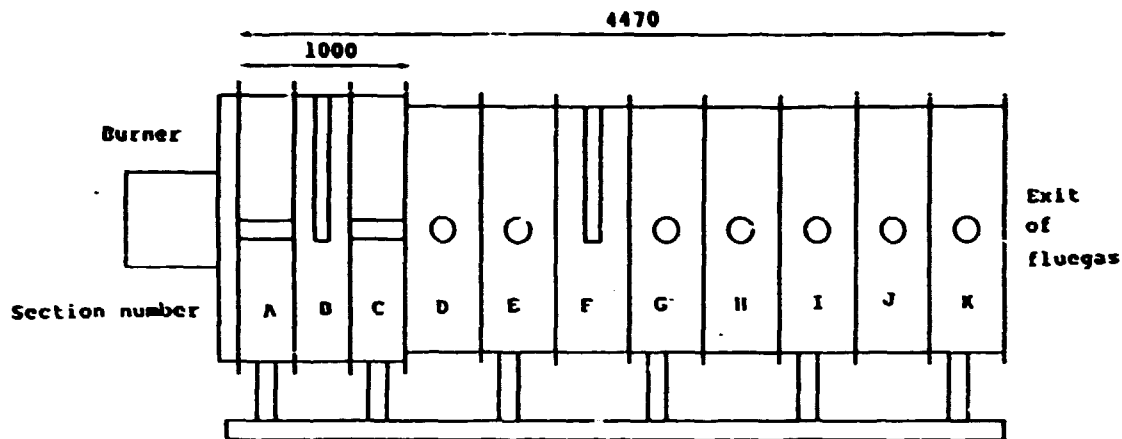


Fig. 3.7.1. Forsøgsovn.

Det eksperimentelle måleprogram med laser omfattede:

- dæmpningsmåling af en laserstråle på tværs af kedlen. Foretages på et antal måleporte langs kedlen.
- hastighedsmåling vha. et Laser Doppler Anemometer (LDA) med og uden forbrænding, bl.a. lokale målinger af hastighedens middel- og RMS (Root Mean Square)-værdi i aksiel og tangentiell retning.

I det følgende skal de vigtigste resultater af LDA-målingerne fremhæves. Der henvises til ref. 3.7.1. for nærmere detaljer.

LDA-målingerne er hovedsagligt udført i de første 4 kedelsektioner, dvs. op til ca. 1200 mm fra kedelfronten, idet flammelængden er knap 1 m. De mest drastiske og interessante flow-ændringer foregår netop i flammen. I det følgende præsenteres LDA-målinger fra forsøg uden og med forbrænding af kulstøv, dvs. hhv. kold og varm flow.

Der blev som standard valgt et primært og sekundært luftflow på 105 m³N/h og 480 m³N/h, kulstøvsdosering ca. 67 kg/h, svarende til ca. 490 kW indfyret effekt.

I fig. 3.7.2. er forsøgsopstillingen skitseret. Laser Doppler anemometret er placeret på en sandwichplade, der er forskydelig i x og y retningerne. Laserstativet med laserudstyret er flytbart og kan rulles fra måleport til måleport.

Scanning af hastighederne langs en diameter foretages ved at flytte frontlinsen i x-retningen, jf. fig. 3.7.2., og på fig. 3.7.3. vises den tidlige hastighedsudvikling i anden sektion, 499 mm fra kedelfronten, hvor det ses, at ca. 1/2 time efter opstart stabiliserer flowet sig.

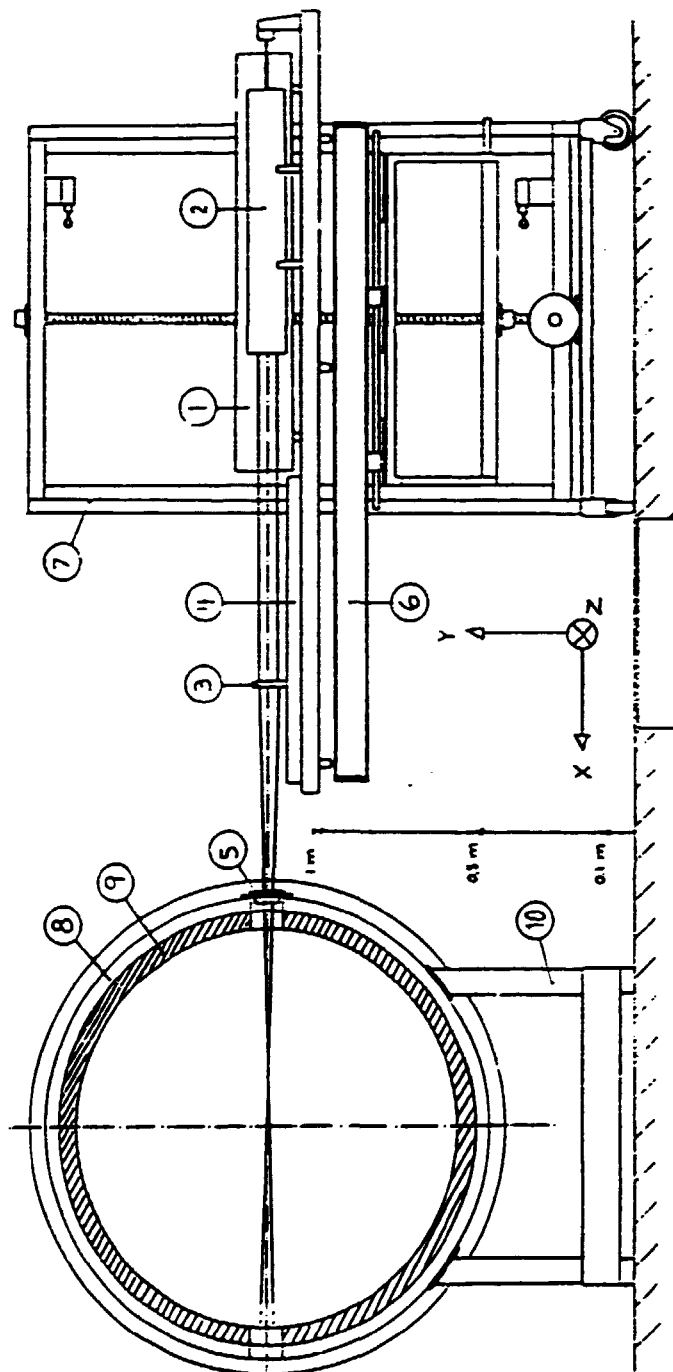
I fig. 3.7.4. og 3.7.5. er kold- og varmflowmålingerne med LDA vist sammen, dog er hastighederne for koldflowforsøgene skaleret op med en faktor 2 for bedre at kunne sammenligne resultaterne.

Det er bemærkelsesværdigt, hvor ens hastighedsprofilerne tager sig ud. Detaljer pga. asymmetri af brænderen ses både med og uden forbrænding. Forskelle mellem kold og varm flow forsøgene er tydeligst for aksial flowet og i nærbrænderfeltet efter brænderudmundingen (på engelsk quarl). Forskellen mellem kold og varm kedel kan let forklares teoretisk.

Forsøgsresultatet indikerer, at LDA-målinger er særdeles pålidelige til måling af middel- og RMS-gashastigheder i kedlen bortset fra en central zone i nærbrænderfeltet inden for en radius af ca. 200 mm. Her er bestemmelsen af de sande RMS-værdier måleteknisk vanskelig pga. de ukontrollerede kulpartikelstørrelser, men målingerne i figur 3.7.4. og 3.7.5. indikerer god målenøjagtighed uden for den vanskelige zone.

I nærbrænderfeltet er der påvist god målenøjagtighed af middelhastigheden ud for første måleport (114 mm fra kedelfronten) i et koldt forsøg med seeding med kulstøv og udvælgelse af de kraftigste LDA-signaler.

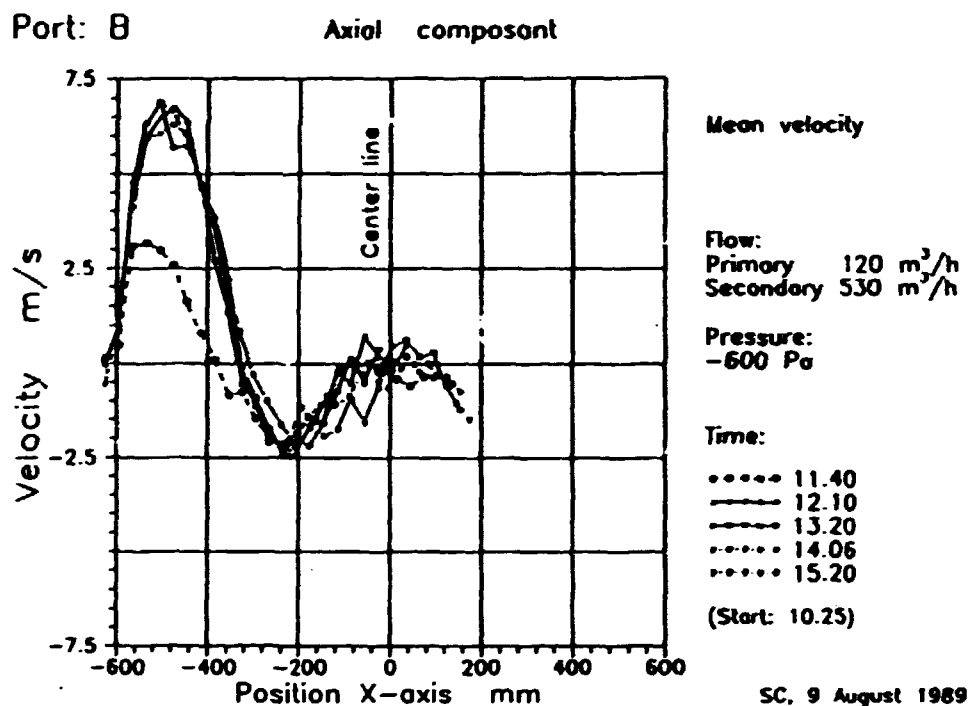
Fig. 3.7.2. Forsøgsopstilling set fra brænderen. 1: 5 W Ar-ion laser, 2: LDA-optik, 3: frontlinse ($f = 1200$ mm), 4: LDA traversering af frontlinse, 5: måleport med kvartsrude, 6: sandwichplade, 7: stativ til laserudstyret, 8: forsøgskedel, 9: udmuring, 10: stativ for forsøgskedel. Reference koordinatsystem vist.



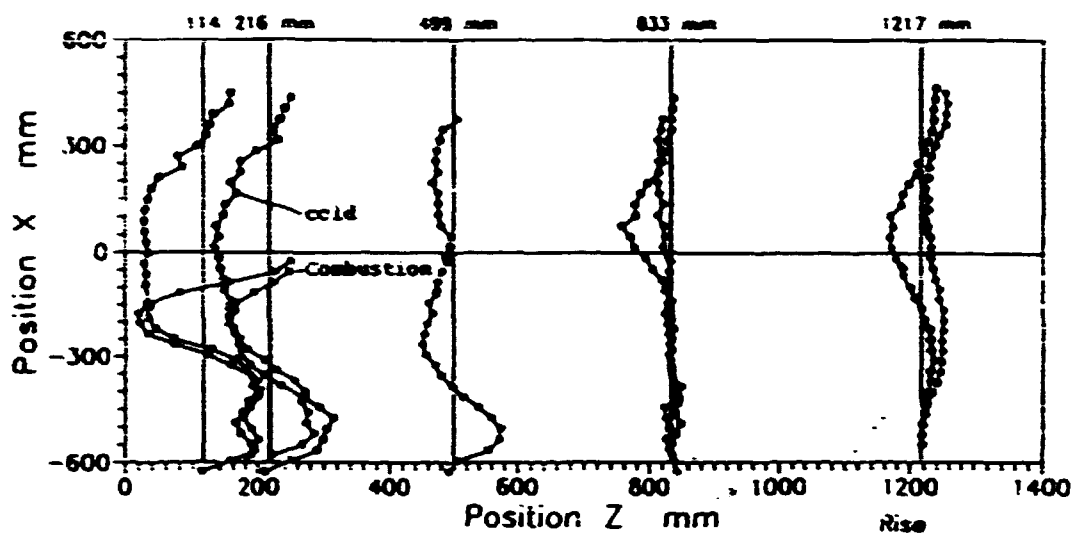
LDA-målingerne på kedlen uden forbrænding voldte ingen større vanskeligheder. Optimale målebetingelser kunne sikres ved velkontrolleret seeding af primær og sekundær luften med mindre Al_2O_3 -partikler.

De praktiske erfaringer mht. hastighedsmåling med LDA erhvervet under projektet betyder, at hastighedsmålinger fremover vil kunne udføres i mindre forbrændingsanlæg. På større forbrændingsanlæg må vandkølede prober formentlig benyttes for at nå op på de nødvendige fysiske afstande.

Fig. 3.7.3. LDA-måling af den aksielle middelhastighed ud for anden sektion (port B) til forskellige tidspunkter.



Axial Mean Velocities



Axial RMS Velocities

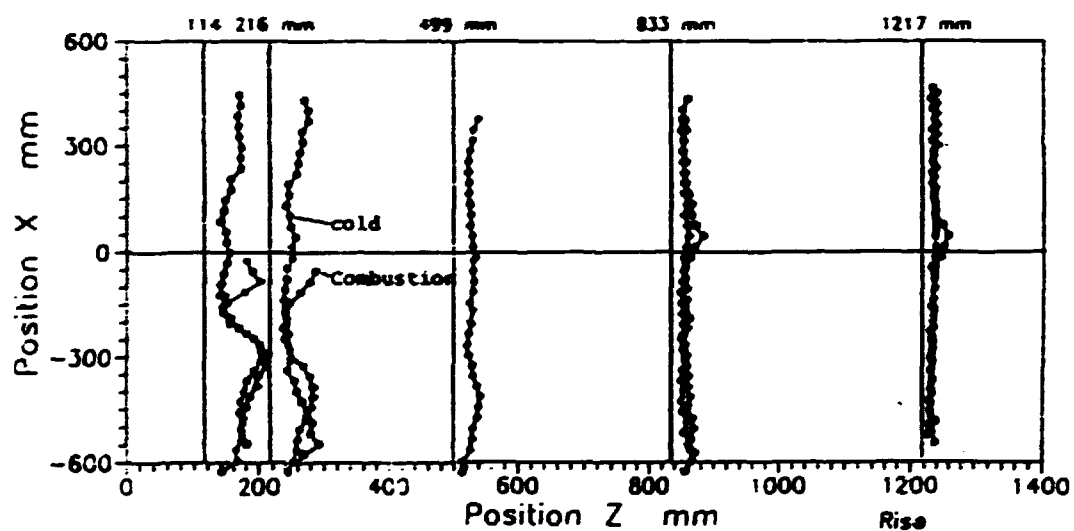
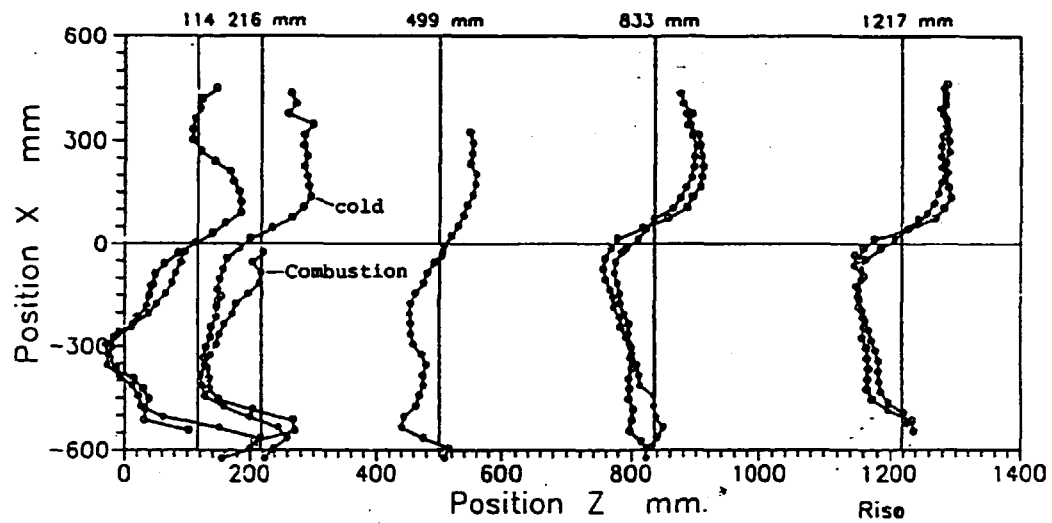


Fig. 3.7.4. Kold og varm flow hastigheder målt med LDA. Primær/sekundær flow 105/490 mm³/h. 100 mm langs z-aksen svarer til 5.9 m/s med forbrænding og 2.95 m/s uden forbrænding.

Tangential Mean Velocities



Tangential RMS Velocities

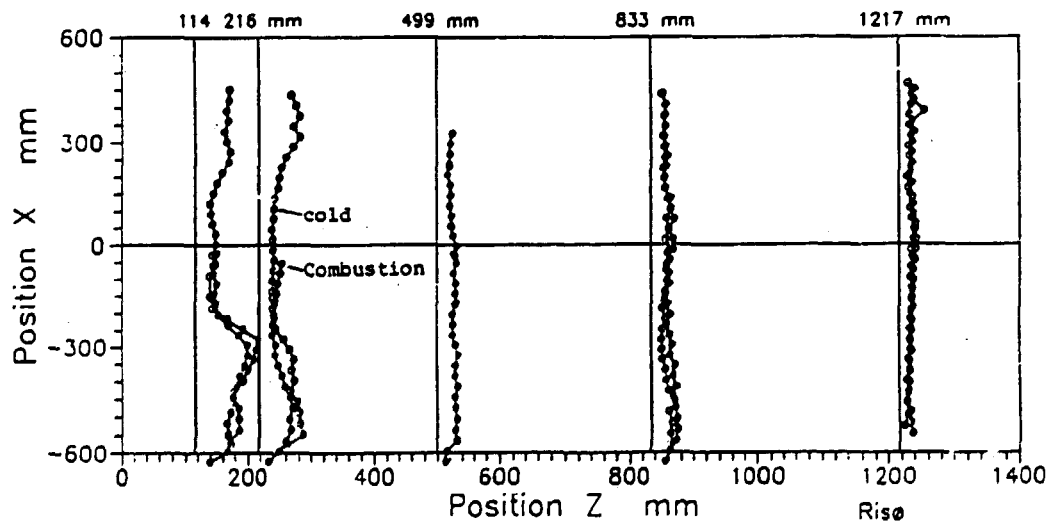


Fig. 3.7.5. Kold og varm flow hastigheder målt med LDA. Samme bemærkninger som i fig. 3.7.4. Tangentielle hastigheder.

Forskningsprogram 4: Vindenergi

4.1. Vindkraftteknologisk udviklingsarbejde for vindmøller. (EM j.nr. 1364/87-2)

Projektet finansierer forskningsaktiviteter på Prøvestationen, der ikke direkte kan henføres til et af de faglige projekter. Det giver mulighed for med kort varsel at foretage indledende arbejde på nye forskningsområder og gennemføre små specielle forskningsprojekter, der opstår behov for i forbindelse med vindmøllernes teknologiske udvikling.

I 1989 er der arbejdet med følgende:

Funktionsafprøvning af forsøgsmøllen er afsluttet og rapporteret (ref. 4.1.2.). Forsøgsmøllen blev nedtaget i begyndelsen af året og vil, efter at der er udført mindre ændringer på selve møllen, blive brugt til eksperimentelle forsøg med en to-bladet rotor.

Målinger og analyse på et lodretstående blad (aerodynamiktårnet) er afsluttet og rapporteret. Resultaterne derfra sammen med Prøvestationens målinger på vinger på møller i drift viser, at forudsætningerne for vindens strømning og kraftpåvirkninger på en vindmøllers vinge ved høje vindhastigheder (stall området) er anderledes end hidtil forudsat, idet bl.a. opdriftskoefficienterne er større end ved tilsvarende målinger ved en todimensional strømning i en vindkanal.

Betydningen af placeringen af anemometeret og opstrømningen iøvrigt foran en mølle har tidligere været analyseret bl.a. i et EF projekt vedrørende anemometer kalibrering. I 1989 har Prøvestationen selv foretaget yderligere målinger af vindhastigheden i forskellige afstande og vinkler foran og bag en mølle. Disse målinger er fortsat ved at blive analyseret. Der er foretaget en indgående undersøgelse af kalibreringsproceduren for anemometre.

Forskellige mindre forsøg og ændringer er udført på vandpumpemøllerne.

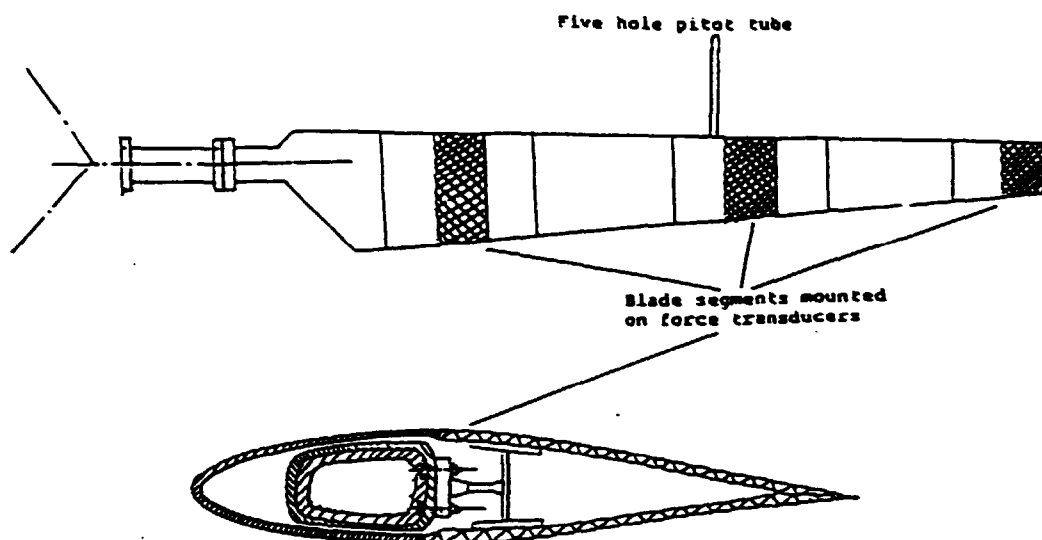
4.2. Rotor aerodynamik. (EM 1364/88-3 og 1364/89-2)

I begyndelsen af året fortsatte røgforsøgene, hvor luftstrømmen gennem rotorplanet bliver synliggjort ved hjælp af røggranater. Undersøgelser af tip-hvirvlerne blev fortsat, siden blev forholdene længere inde på bladet og rod-hvirvlerne undersøgt. Samtidig målttes belastningerne på møllen. Samlet fås derved et både kvalitativt og kvantitativt udtryk for luftens strømning gennem rotoren.

Grænselagsstrømningen omkring en vinge er synliggjort ved at påsmøre en bestemt olietype, som indeholder et flydende krystal. Dette viser bl.a. anslag og afløsning for strømningen. På den to-bladede DWT mølle, som er en bagløber, har det været muligt at montere et medroterende videokamera ca. 2 m bag rotoren. Derved har det været muligt bl.a. at bestemme strømningsretningen henover bladet.

Der er udviklet og rapporteret en beregningsmetode, kaldet panel metoden, til bestemmelse af strømningshastigheden omkring et profil.

På Tellus møllen er gennemført et projekt, som delvis finansieres af EF, hvor der er foretaget målinger af belastningerne på 3 »løse« segmenter af en vinge. Denne metode til måling af profilegenskaber og relativ hastighed på udsnit af en vinge har vist sig meget velegnet og givet mange informationer.



Figur. 4.2.1. Skematisk tegning og snit af vingen med 3 løse segmenter.

Foreløbig er resultaterne i rimelig overensstemmelse med de resultater, der er kommet fra Prøvestationens seneste målinger på andre møller og aerodynamiktårnet.

Det betyder, at der er en begyndende forståelse af de 3-dimensionale effekter omkring en roterende vindmøllevinge. Kræfterne fordeler sig anderledes, end man tidligere har antaget.

Sidst på året er opsat et kamera på en roterende arm bag på Tellus møllen. Der arbejdes fortsat med udviklingen af styringen af denne arm. Med dette udstyr bliver det muligt at fokusere på forskellige dele af vingen under drift.

I perioden er modellen for vind-flowet forbi en vindmølle udvidet, idet man har inddraget vindens naturlige turbulens i beskrivelse af vindskyggen eller waken bag en mølle. Samtidig er der gennem arbejdet med placeringer af anemometre opbygget en mere detaljeret model for opstemningseffekten foran en mølle.

På Prøvestationen er endvidere fundet en god overensstemmelse mellem turbulensintensiteten og forskellige vindretninger, idet terrænet omkring Prøvestationen er ret inhomogent. Dette kan fremover benyttes til at foretage målinger ved forskellige turbulensintensiteter.

Sidst på året er startet et projekt sammen med vindmøllefabrikanten Bonus, vingefabrikanten LM og DK-teknik (der laver støjmålinger). Projektet har til formål at afprøve forskellige udformninger af vingetippen for støj og effektivitet. Prøvestationens bidrag til projektet består i at bestemme eventuelle forskelle i effektiviteten ved de forskellige tipudformninger. Målingerne foretages på en 350 kW Bonus mølle, der er opstillet ved Slagelse. Foreløbig ser det ud til, at forskellene er signifikante både m.h.t. effekt og støj.

4.3. Lastgrundlag og dimensionering (Strukturel mekanik og levetid). (EM j.nr. 1364/88-4 og 1364/89-3)

Det i 1988 nyudviklede lastberegningsprogram består af adskillige moduler, som kommunikerer med hinanden på resultatniveau. Beregningerne ender med en bestemmelse af levetiden. Som eksempel er der foretaget beregninger på en Masnedø Mølle med 20 m vinger, og de er sammenlignet med målinger, tidligere dimensioneringsgrundlag og normudkastet. Der er foretaget beregninger ved forskellige turbulensintensiteter og derved fundet et udtryk for afhængigheden af turbulensen. Da et sådant ligeledes er fundet ved målinger på andre møller på Prøvestationen, er der arbejdet med en generalisering til brug i normen.

Der er især arbejdet på at opnå en bedre bestemmelse af rotorlasterne. Det drejer sig om nikke- og drejemomenterne samt aksialkraften, som tilsammen stort set er dimensionerende for maskinkabine og tårn. Nikke- og krøjemomenterne er for første gang målt direkte på møller opstillet på Prøvestationen, idet lejearrangementet på Nordex 225 kW møllen gør dette muligt. Tilsvarende er der målt tilnærmede værdier på toppen af tårnet på Vestas V27 og bøjningsmomenter i bunden af tårnet. Dette har givet mulighed for en bestemmelse af lastspektret for aksialkraften. Målingerne skal sammenlignes med tilsvarende beregninger.

De to møller er af samme størrelse og placeret ved siden af hinanden. Det har således været muligt at foretage belastningsmålinger (wake-målinger), når den ene mølle har stået i læ eller skygge af den anden. De foreløbige analyser viser en pænt stigende belastning, når møllen kommer delvist i skygge. Målingerne skal bl.a. benyttes til at justere beregningsprogrammet for laster på vindmøller placeret i skyggen (waken) af andre møller.

Målingerne af specielt de dynamiske nikke- og krøje-momenter på henholdsvis Vestas V27 og Nordex 26 er analyseret både med henblik på dokumentation i forbindelse med normerne, men også for at eftervise en interessant forudsigelse fra last-beregningsprogrammet, som nemlig forudsiger, at f.eks. krøjelaster kan reduceres til omtrent 50% i forhold til typiske værdier for møllerne i dag, blot ved at justere krøje- (eller tårntorsions-)egenfrekvenser på den mest hensigtsmæssige måde.

Der er satset en del ressourcer på at undersøge dette forhold, som hvis det er rigtigt, vil have stor betydning for design og dimensionering af vindmøller.

Nordex møllen med gittertårn har en sådan lav krøjeegenfrekvens, og foreløbige målinger ser ud til at bekræfte teorien.

Belastningsmålinger på en mølle i skyggen af en anden og analyser af disse er også brugt til at undersøge, hvordan den cykliske bladlast varierer under en omdrejning, hvilket både siger noget om belastningen på en mølle i skygge af en anden og samtidig om kølevandets udseende.

Bestemmelse af møllernes følsomhed for turbulensintensitet har vist sig at være vanskelig og har krævet mange målinger. For at få et bedre statistisk grundlag er der foretaget målinger og analyser på fire forskellige møller. Som et eksempel er gennemført en beregning på en Windane 34 i en møllepark. Det viser sig, at møllen i det tilfælde var ca. 20% højere belastet end en tilsvarende fritstående mølle. Generelt har turbulensdelen af modellen givet god overensstemmelse med målinger m.h.t. kobling mellem nikke og krøje-modalformerne. Dette har givet ganske god overensstemmelse med målinger på Vestas 27, og giver samtidig en indikation af betydningen af placeringen af de forskellige egenfrekvenser.

4.4. Design af to-bladet mølle. (EM j.nr. 1364/88-5 og 1364/89-4)

Den teoretiske model til beskrivelse af dynamikken i en to-bladet mølle er udbygget til også at medtage tårnbevægelser. Modellen medregner de ulineære led, således at der kan regnes med store flytninger, hvilket er relevant for evt. kommende fleksible møller (bløde konstruktioner). Aerodynamikken er lagt ind i modellen, således at den kommer til at regne aeroelastisk.

For at kunne bestemme parametrene i den dynamiske model, er der foretaget en finite-element analyse af møllen.

Den aeroelastiske model er således fuldt operationel nu. Der er foretaget testkørsel med simplificerede tilfælde, hvor responset er kendt. Derefter er der indsat værdier svarende til DWT møllen, og der arbejdes på at gennemføre en systematisk parametervariation omkring disse værdier med det formål at finde grænserne for systemets stabilitet og de tilhørende belastninger.

Den to-bladede DWT mølle blev opstillet på forsøgsmøllens tårn i foråret, og der er foretaget indledende målinger specielt af krøjningen og navets vippebevægelse. Det viser sig, at bevægelserne i højturbulent kraftig vind er så store, at navet går imod ende-(teeter-)stoppene med kraftige rystelser til følge.

Måleprogrammet på DWT møller i den nuværende konfiguration er afsluttet. Der er målt ved både lave og høje vindhastigheder, svarende til før og efter stall. Desuden er der målt i lav- og højturbulent vind og med og uden krøjbremse for at undersøge effekten af krøjning.

Analysen af målingerne foretages løbende. Foreløbig viser disse, at møllen har en meget fin krøjningsstabilitet. Middelfejlen er kun nogle få grader, og spredningen er mindre end spredningen på vindretningen. Det væsentligste problem for møllen er højturbulent vind, hvor teeter-stoppene som nævnt går i bund med voldsomme belastninger til følge.

For nogle af parametrene har det vist sig vanskeligt at korrelere med vindretningen målt to diametre foran møllen. For eksempel har der ikke kunnet findes nogen entydig sammenhæng mellem krøjefejlen og teeter-vinklen. Af den grund er der monteret en bom med anemometer og vindfane foran møllehatten, dermed skulle der være mulighed for at opnå en bedre korrelation.

Der er konstrueret et nyt vippenav til forsøgsmøllen, som muliggør hurtig ændring af stivhed og dæmpning i teeterbevægelsen.

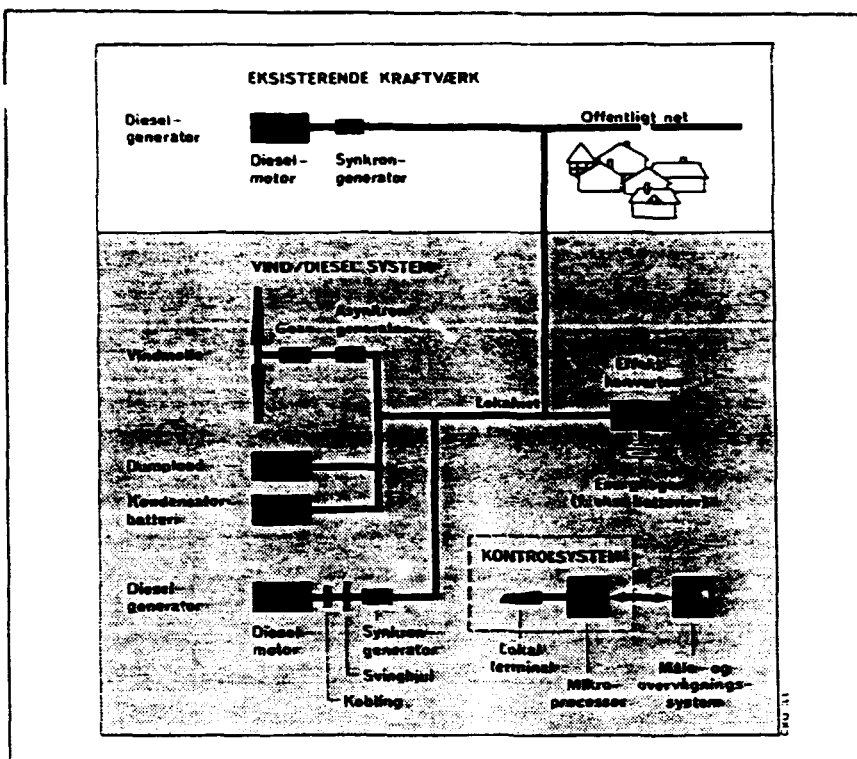
4.5. Vind/diesel systemer. (EM j.nr. 1364/88-7)

Projektets formål er at undersøge og udvikle muligheder for anvendelse af vindmøller på små/svage net, der typisk får el leveret fra en dieselmotor.

Der er opbygget en testfacilitet ved Prøvestationen, hvor forskellige driftsstrategier m.v. kan afprøves.

I 1989 er der udviklet en PC-baseret simuleringsmodel til brug ved bedømmelse af vind/diesel systemers energiproduktion og brændstofbesparelse. Modellen er opbygget modulært med et separat kontrolmodul, således at man i en planlægningsfase nemt kan simulere et antal systemkonfigurationer og kontrolstrategier, og den arbejder med gennemsnitsværdier for tidsintervaller af størrelsesorden minutter, typisk 10 minutter.

Faciliteter for uatagenering incl. stokastisk variation af vind og forbrug er inkluderet, og der er et antal optioner for de forskellige komponenter. Skaleringsreglerne for stallregulerede møller er indbygget i vindmøllemodellen, så



Princippet i et vind-dieselanlæg. Afhængigt af vindhastigheden leverer anlægget el fra vindmøllen alene, fra vindmølle og dieselgenerator tilsammen, eller fra dieselgeneratoren alene.

Fig. 4.5.1. Princippet i et vind/diesel anlæg.

møllen kan køre med variabel omdrejningshastighed, og man kan undersøge, hvilke rotordiameter og omløbstal som passer bedst til en given situation. På en 80386 PC simuleres et år i 10 minutters tidsintervaller på mindre end to minutter, og modellens resultater for energistrømme og brændstofbesparelser kan bruges i vurdering af forsyningsevne og økonomi for en given konfiguration og/eller driftsstrategi. Modellen er under rapportering.

Målinger på Chalmers vind/diesel system, som var en del af det oprindelige Nordisk Ministerråds projekt, er afsluttet i 1989, og en slutrapport er under udarbejdelse. Resultater af målingerne indgår i verificering af langtidsmodellen, og med enkelte supplerende målinger på Chalmers system er en model af systemet kalibreret færdigt, inkluderet variabel omdrejningshastighed på vindmøllen.

Arbejdet med BP's svinghjulsager blev afbrudt, da BP besluttede ikke at markedsføre lageret. Der har været kontakt til Clayton Energy Systems, som fremstiller det tidligere Laings svinghjulsager, om en evt. afprøvning i Danmark.

Risø har i samarbejde med EFI i Norge, Rutherford Lab. i England og ECN Petten i Holland indsendt ansøgning til EF DG XII Joule om midler til udvikling af en dynamisk vind/diesel model. Desuden har Risø medvirket til en ansøgning til EF DG XVII om bidrag til et vind/diesel anlæg til Vejv, bl.a. er en langtidsmodel for systemet opbygget og brugt til konceptstudier og økonomivurderinger som led i et eksamensprojekt ved Københavns Tekniskum. Begge ansøgninger har resulteret i tilsagn om bevillinger.

4.6. Programpakke til strukturel dimensionering af vindmøller. (EM j.nr. 1364/88-6)

Projektets formål er at udvikle et brugervenligt interaktivt PC-program til anvendelse ved dimensionering af en vindmøllekonstruktion. Projektet er pr. 31/12-89 omtrent halvvejs i dets totale forløb.

Ved årsskiftet 1988 forelå en samling interaktive editerings rutiner samt en aerodynamikmodel. I det forløbne år er programpakken blevet ganske væsentligt udbygget, og fremtræder nu som en færdig første generations et-bladsmodel.

Modellen giver mulighed for beregning af såvel deterministisk som stokastisk strukturelt respons forårsaget af gravitations-, centrifugal- og vindkræfter. Responset angives i form af enten deformationer, hastigheder, accelerationer, tværnsnitkræfter eller spændinger i brugerspecificerede punkter. Den deterministiske del af responset præsenteres generelt grafisk som tidsplot, mens den stokastiske del angives som powerspektre.

Det strukturelle respons kan analyseres med henblik på en bestemmelse af ekstremværdier og udmattelsespåvirkninger.

Udmattelsesanalysen er baseret på såvel deterministisk som stokastisk respons. Den giver mulighed dels for en bestemmelse af udmattelseslevetidsforbruget i en enkel vilkårlig lastsituation, dels for at foretage en aggregeret levetidsberegning for en række specificerede lasttilfælde som vingen vil opleve i sin levetid.

Extremværdianalysen er ligeledes baseret på det totale respons, og den giver en vurdering af såvel den maximale som den minimale værdi af en vilkårlig af responsparametrene i et vilkårligt antal brugerspecificeret punkter på vingen.

Den overvejende del af beregningsresultaterne fra programmet præsenteres i et fleksibelt interaktivt grafikmiljø med henblik på en effektiv udarbejdelse af endeligt rapportmateriale.

Resultater fra modelberegninger er sammenlignet med eksisterende målinger på en Danwin 180 kW mølle med rimeligt resultat.

Den videre udbygning af modellen vil især sigte imod modellering af kobling mellem bladene og kobling mellem rotor og tårn. Denne udbygning er snævert forbundet med udnyttelse af en integreret møllemodel som sektionen ligeledes udvikler. Det er tanken at benytte denne model bl.a. til identifikation af væsentlige supplerende svingningsmodes i en typisk møllekonstruktion. Indledende parameterstudier, primært med det formål at verificere denne model, er i gang.

Arbejdet på projektet i det forløbne år har været tæt knyttet til arbejdet på et beslægtet EF-projekt i sektionen, som er afsluttet pr. 31/8-89.

4.7. Vindprofil over kystnære områder. (EM j.nr. 1364/88-8)

Formålet med projektet var at gennemgå den tilgængelige viden om emnet og skitsere et måleprogram, der i givet fald vil kunne udfylde hullerne i denne viden. Projektet skal ses i relation til forsøgene på at få etableret vindfarme til vands, men med moderat afstand fra kysten.

Især er litteraturen vedrørende havoverfladens ruhed blev gennemgået. Konklusionerne her er: a) Der er betydelig spredning mellem de forskellige modeller og mellem modellerne og data. b) Ruheden i kystnære havoverflader

tenderer til at være større end for åbent vand, men bølgefeltet på havoverfladen og vindhastigheden er de væsentligste parametre og gør, at man må tilskrive kystnære havoverflader rudhedsværdier i samme størrelsesinterval som for åbent hav. Artikler om sammenhæng mellem bølgefelt og ruheder er blevet udarbejdet til the Ninth AMS Symposium on Turbulence and Diffusion.

På grund af de store forskelle mellem hav og land med hensyn til termiske egenskaber og overfladeruhed udviser atmosfæren forskellig stabilitetsklimatologi over de to overflader, og temperaturforhold kan ofte spille en stor rolle ved overgangen mellem land og vand. Disse forhold er blevet studeret på basis af fem års samtidige målinger på en landstation, Tystofte på Sjælland, og en vandstation, Sprogø.

Disse studier er illustreret på figur 4.7.1., der viser den gennemsnitlige daglige stabilitetsvariation om foråret ved de to stationer. Stabiliteten er præsenteret som 10 meter divideret med Monin-Obukhov længden L . Dataene viser, at med vindhastigheder mellem 4 og 7 m/s er landstabiliteten næsten neutral (nul), dog med en karakteristisk tendens til ustabilitet (minusværdier) om dagen. I modsætning hertil udviser stabiliteten over vand ingen daglig variation, men er stabil (positive værdier) hele døgnet i overensstemmelse med den stærke tendens til, at luften er varmere end vandet ved forårstid.

I overensstemmelse med projektets målsætning er der konstrueret et måleprogram, der skal give en bedre afklaring af de udestående problemer. Det er tanken at implementere dele af dette måleprogram i forbindelse med Danmarks første havvindpark. Dette involverer samtidige målinger af vind og bølgefelt samt målinger af stabiliteten over havet og den nærliggende landoverflade.

Projektet er færdigt, og slutrapport med ovennævnte resultater er under udarbejdelse.

4.8. Feltmålinger i vindmølleparker.

(EM j.nr. 1364/88-9)

Formålet med projektet er at sammenfatte og evaluere tidligere foretagne og rapporterede vindmølleparkmålinger i Danmark, primært for at kommunikere resultaterne videre i IEA-regi og derved også få direkte adgang til andre landes tilsvarende målinger.

Vi har fået rapporter fra fire vindmølleparker:

1. Tændpibe, et fladt homogent terræn øst for Ringkøbing Fjord med 35 VESTAS V17 à 75 kW.

Måleresultater:

- Effektkurver i fri anstrømning.
- Effektkurver i skyggen af andre møller.
- Skyggevirkninger: Ændringer i middelvind og turbulens. Spektralfordeling i fri vind og skygge.
- Parkvirkningsgrad sammenlignet med modelberegninger.
- Elkvalitet.

Målinger udført af Risø og Skibsteknisk Laboratorium.

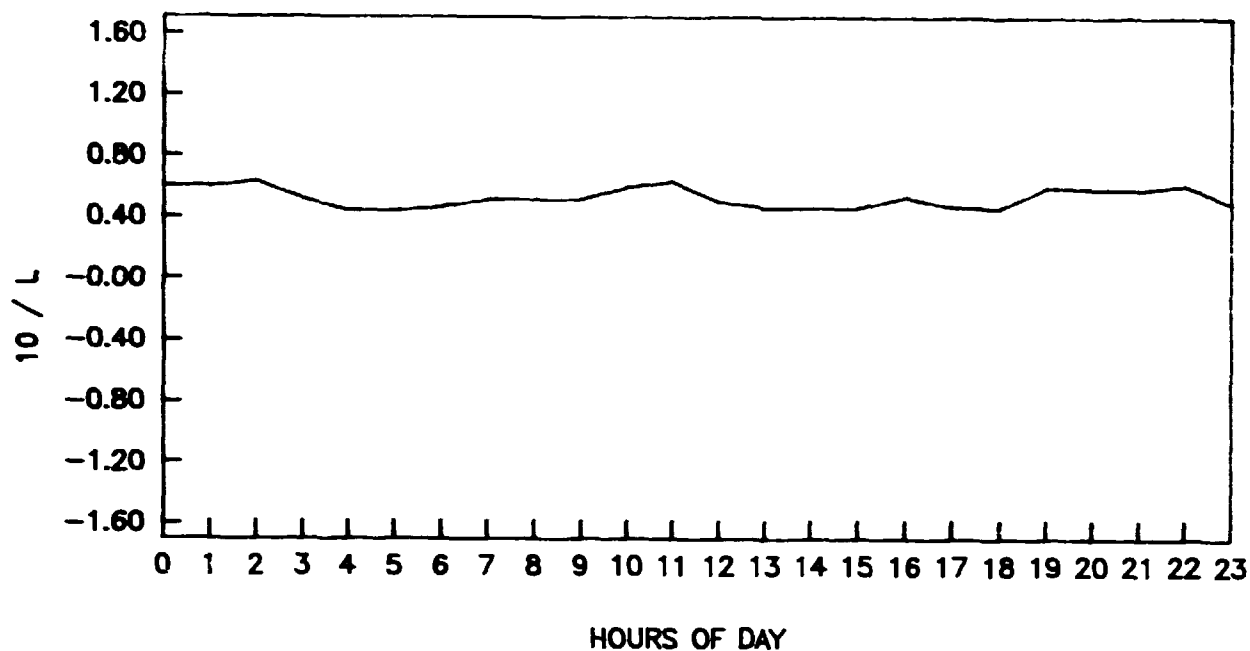
2. Sydvestmors, på en lav afrundet bakke, omgivet af landbrugsejendomme, tæt på bymæssig bebyggelse, med 10 VESTAS V17 à 75 kW.

Måleresultater:

- Skyggevirkninger: Ændringer i middelvind og turbulens.

DAILY VARIATION OF $10/L$ IN SPRING AT SPROGØE

WINDSPEEDS FROM 4 M/S TO 7 M/S



DAILY VARIATION OF $10/L$ IN SPRING AT TYSTOFTE

WINDSPEEDS FROM 4 M/S TO 7 M/S

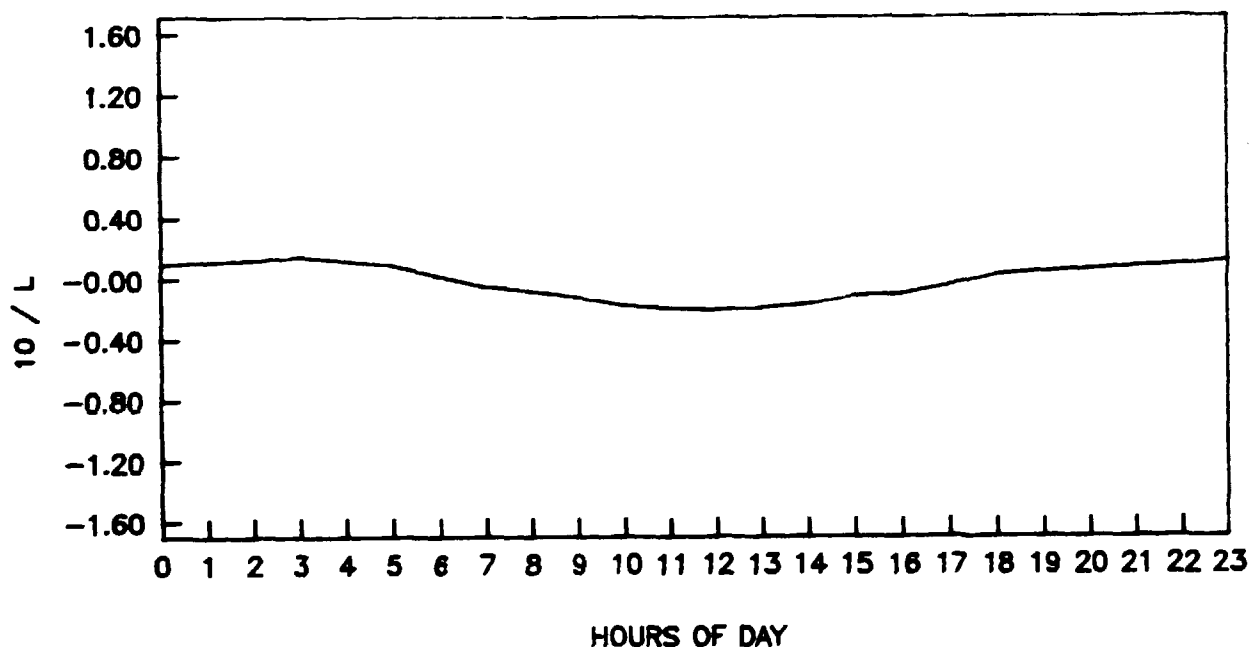


Fig. 4.7.1. Figuren viser den gennemsnitlige daglige variation af luftens stabilitet over land (Tystofte) og over vand (Sprogø). Stabiliteten er givet som 10 meter divideret med Monin-Obukhov længden L , se teksten.

- Årsvirkningsgrad.
 - Elkvalitet.
- Målinger foretaget af Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energi.

3. Ærg, på et let bakket terræn, der falder jævnt (10%) ned mod en sydvendt kyst, med 11 VESTAS 55 kW.

Måleresultater:

- Skyggeeffekter: Enkelt mølle skygge. Kombineret effekt af flere mølles skygge.
- Elkvalitet, aktiv/reaktiv effekt, effektvariationer.

Målinger foretaget af Skibsteknisk Laboratorium og Laboratoriet for Energiforskning.

4. Ebeltoft, på en mole ved Ebeltoft Færgehavn. Møllerne på en »knækket linie« op til 600 m fra kysten. 17 Nordtank à 55 kW og 1 à 100 kW.

Måleresultater:

- Skyggeeffekter.
- Parkvirkningsgrad.
- Indsamling af driftsdata for parken.
- Elkvalitet.

Målinger foretaget af Skibsteknisk Laboratorium.

4.9. Gust estimering. (EM j.nr. 1364/87-7)

Slutrappporten er under udarbejdelse, men her præsenteres nogle af de delresultater, som er opnået i 1989.

I ref. 4.9.3. og 4.9.4. er der udviklet en sandsynlighedsteoretisk beskrivelse af gust vindhastigheder. Den relative gust amplitude defineres som:

$$a = \frac{u_g - u}{u} = \frac{u_{max}^*}{u}$$

Under antagelser om stationaritet og af at en ikke-smalbåndet proces resulterer i en joint-Gaussisk beskrivelse af u og du/dt , kan man da skrive den forventede gust værdi i en tidsserie af længden T som:

$$a = \frac{\sigma_u(\tau)}{u} \sqrt{2 \ln \left(\frac{T}{2\pi} \frac{\sigma_{\dot{u}}(\tau)}{\sigma_u(\tau)} \right)}$$

hvor

$\sigma_u(\tau)^2$ er variansen af vindhastigheden
 $\sigma_{\dot{u}}(\tau)^2$ er variansen af den tidsafledede af vindhastigheden
 τ er den blokmidlingstid, som vindhastighederne udsættes for inden beregning af gust (instrument-midling eller anden form for midling).

De højpas (midlingstid T) og lavpas (midlingstid τ) filtrerede varianser af vindhastigheder og differentierede vindhastigheder kan nu fås ved at integrere en spektral model for vindhastighedsfluktuationerne udstyret med passende filtre. Dette er blevet gjort for at sammenligne de målte værdier af gust på Sprogø (over en 10 års periode) med det teoretiske udtryk.

Målingerne på Sprogø er fra 70 m højde, gustmidlingstiden 3 sekunder og tidsseriælængderne 10 minutter. Data blev sorteret i forskellige vindhastighedskategorier (ref. 4.9.1. og 4.9.4.). I den beregnede gust værdi har vi brugt en overfladeruhed for vand som varierer med vindhastigheden efter den velkendte Charnock formulering. De anførte resultater fra ref. 4.9.4. er for hele datasættet, mens ref. 4.9.1. har sorteret visse tvivlsomme vindretninger fra. Den benyttede spektralmodel er den til dette projekt udviklede model for neutrale forhold fra ref. 4.9.2.

Tabel 1.

Vindhastighed 70 m [m/s]	Ruhed [mm]	Målte gust værdier Jensen	Abild	Beregnet gust
10	0.1	0.16	0.14	0.17
15	0.3	0.17	0.15	0.19
20	0.5	0.19	0.18	0.20

Som det fremgår af tabel 1, har de beregnede gustværdier en svagt stigende tendens med vindhastigheden ligesom de målte resultater, men de beregnede gust værdier ligger generelt lidt højere, end de målte.

4.10. Vindenergipotentialet. (EM j.nr. 1364/87-9)

Eksperimentet blev planlagt for nærmere at undersøge en uoverensstemmelse mellem beregninger af vindstrømning over et karakteristisk terræn, en skrænt eller skråning, som vist i fig. 4.10.1., med modeller af typen Jackson-Hunt og nogle foreløbige felstudier nær en meget moderat skråning: Modellerne viste en alt for hurtig aftagen i den relative overhastighed med nedstrømsafstanden fra skråningen sammenlignet med observationerne (ref. 4.10.3.). Den perfekte symmetri mellem henholdsvis stuvningen før og overhastigheden efter skrænten, som findes i disse modeller, var heller ikke blevet bekræftet af disse tidlige observationer.

Selv beskudne ændringer i middelvindhastigheden virker kraftigt ind på vindmøllers rentabilitet. Det er derfor af stor betydning at kunne beregne størrelsen af de terrænbetingede vindhastighedsforøgelser, overhastigheder, når det drejer sig om vindmølleplaceringer og i forbindelse hermed at kunne drage fordel af så store områder som muligt med en gunstig placering. Man mente derfor, at det både var nødvendigt og berettiget at skaffe mere dokumentation herfor.

Hertil kommer, at det er interessant at fremskaffe data til afprøvning af strømnings- og turbulensmodeller for at kunne udvælge de karakteristiske dynamiske træk, der er af betydning for en korrekt beregning, herunder den observerede manglende symmetri i strømningsreaktionen. Ligeledes er det turbulente »kølvand« efter et sådant karakteristisk terræn meget interessant, ikke bare for vindmølledegnere med henblik på estimering af møllens levetid, men også inden for områder som bygningskonstruktion og atmosfærisk spredning af forurening. Med disse mål for øje blev et ret omfattende grænselagsforsøg planlagt og udført.

Af hensyn til formålet var det nødvendigt at finde et åbent terræn uden væsentlige forhindringer, så »todimensionalt« som muligt og med en form, der forholdsvis let kunne repræsenteres i modelberegninger.

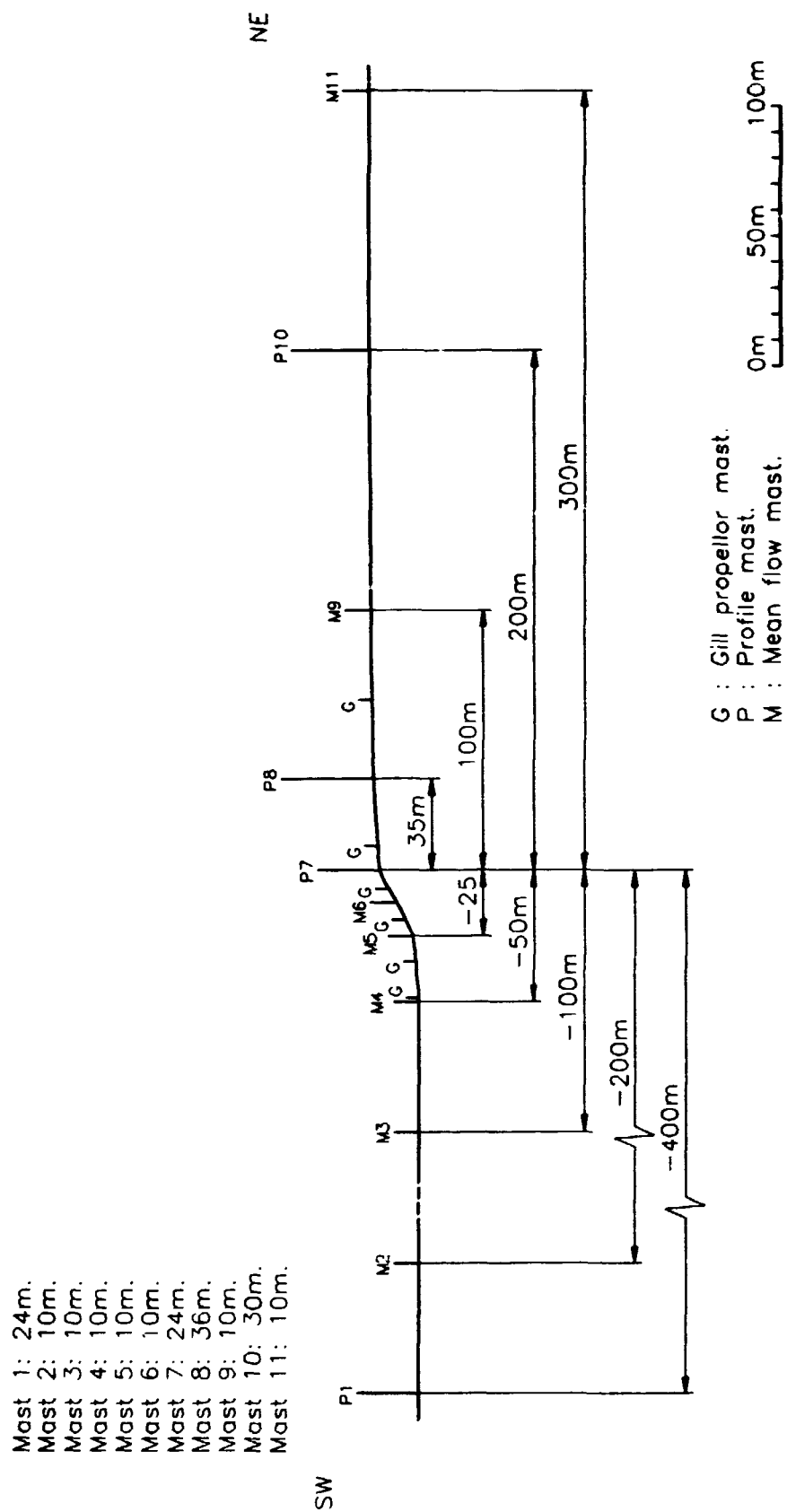


Fig. 4.10.1. Escarpment-89-Hjardemål.

Et område ved Hjørdemål i Nordjylland opfyldte betingelserne og blev udvalgt til formålet. Skrånten her har en hældning på ca. 30° og adskiller to områder med rimeligt fladt terræn og med en højdeforskel på ca. 20 m. Det er rimeligt at betragte den som todimensional i en udstrækning af adskillige hundrede meter langs en nordvest/sydøstgående linie. Orienteringen er ideel med fremherskende sydvestlig vind, der blæser direkte op mod skråningen.

Markerne er opdelt af læhegn, der løber vinkelret på skråningen, og den valgte linieføring af masterne lå midt i sådan en mark med omkring 40 m til læhegn på hver side. Selve skråningen er græsbevokset, og ovenover er der en svag stigning i terrænet på en strækning af ca. 100 m, derefter stort set fladt. Dette landområde er også opdyrket, men åbent. Mod nordvest er der et læhegn med en afstand af 60 m i det nærmeste punkt, og der er en vindmølle tæt på hegnet i en afstand af ca. 100 m målt vinkelret på mastelinien.

Feltforsøget fandt sted i oktober 1989 efter, at afgrøderne var høstet, men stubbene blev ikke pløjet ned, før eksperimentet var tilendebragt. På denne måde blev overfladens aerodynamiske ruhed rimeligt ensartet i hele masterækkens længde.

Der blev instrumenteret en 700 m lang række af 11 master som vist på fig. 4.10.1. Der blev målt vindprofiler på fire master (mærket med »P«). Yderligere syv master (mærket »M«) blev brugt til middelværdiudtællinger i en højde på 10 m. Disse master var instrumenteret med kopanemometre og vindfaner. Derudover var der placeret ni sonic-anemometre af forskellig type hovedsagelig nedstrøms fra skråningen. Den yderste mast i opstrømningsretningen var bestykket med sensorer for temperaturmåling til bestemmelse af atmosfærisk stabilitet.

Et hold fra IMK, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Universität Karlsruhe, deltog i eksperimentet med bl.a. tre sonic-anemometre, syv tredimensionale Gill propelanemometre (skråtstillede) på 5 m høje master (mærket »G« på fig. 4.10.1.) samt et antal overfladetryklader.

Opsamlingen af de analoge signaler blev foretaget med en basishastighed på 100 Hz med blokmidling af dataene, der reducerede den registrerede datahastighed til 10 Hz for sonicanemometerkanalerne og til 2 Hz for kopanemometer- og vindfanesignaler i perioder af op til 12 timers varighed. En fjerde PC blev benyttet til indsamling og rekording af 10 min. statistik (middel-, standard-, minimum- og maksimumværdier) af data af referencemasten (vindhastigheder og -retninger samt temperatur).

Et særskilt mini-datamatsystem blev benyttet af det tyske team til rekording af data fra deres instrumenter synkroniseret med Risø's dataopsamlings-system.

Der blev rekorderet data, når som helst vindretningen var inden for $\pm 30^\circ$ vinkelret på skråningen inkl. tilfælde med strømning ned langs skråningen. Til trods for den ideelle orientering af skråningen var vindretningen ugunstig i måleperioden, især i frisk til hård vind. Der blev rekorderet en betydelig mængde data, men sjældent med middelhastigheder på mere end 5 ms^{-1} (målt på referencemasten i 10 m højde).

En fuldstændig oversigt over det indsamlede datamateriale vil blive udgivet som en Risø rapport.

En egentlig analyse af datamaterialet er der ikke bevilget penge til i projektet, men der er dog allerede udarbejdet en preliminær analyse (ref. 4.10.2), der vil blive præsenteret ved Ninth AMS Symposium on Turbulence and Diffusion. Denne analyse bekræfter, at den terræn-inducerede overhastighed aftager langsommere end forudsagt af modellerne (Jackson-Hunt). Ved samme symposium vil der blive givet en beskrivelse af eksperimentet (ref. 4.10.1) i lighed med ovenstående.

Forskningsprogram 6: Energi-anvendelse i industrielle processer

6.1. Energi problemer ved drift af rensningsanlæg i kuldeperioder. (EM j.nr. 1223/88-7)

Projektet er startet under EFP-88 som et samarbejdsprojekt med I. Krüger A/S. Projektet har til formål at undersøge forskellige rensningsanlægs drift i kuldeperioder for således at vurdere energiproblemerne i kolde perioder. Projektet vil blive afsluttet med forslag til metoder til at forbedre rensningsanlægenes drift i kuldeperioder.

Kravene til kvælstoffjernelse i rensningsanlæg i den kolde årstid forventes væsentligt skærpet. Det har hidtil været accepteret, at rensningsanlæg fungerer med nedsat evne til N-fjernelse ved temperaturer under 8°C. Den biologiske kvælstoffjernelse er den mest følsomme proces i rensningsanlæggene, og ved temperaturer under 6°C går nitrifikationsprocessen i praksis i stå. En løsning på problemet ville være at opvarme vandet for at bevare nitrifikationsprocessen, men dette er såvel energimæssigt som økonomisk anset for uoverkommeligt pga. de store volumener. Kendskab til de eksisterende rensningsanlægs funktion i kuldeperioder skal derfor forbedres, og der skal udføres teknisk-økonomiske beregninger af en række ændringer, udbygninger og procesalternativer for at finde den mest energioekonomiske rensningsmetode.

En central del af projektet består af et måleprogram med registrering af en række driftsdata for 14 rensningsanlæg. Måleprogrammet blev igangsat primo 1989 og var planlagt til at forløbe til og med april måned 1989 for således at dække den normalt koldeste del af året, hvor de i projektet interessante driftsproblemer måtte forventes at opstå. På grund af den usædvanlig milde vinter er de forventede variationer i driftsforholdene på rensningsanlæggene ikke indtrådt, og projektet har derfor ligget stille.

I slutningen af 1989 blev det besluttet at genoptage måleprogrammet og derudover at indsamle mere detaljerede data på mindst 2 anlæg via dataloggere. Disse data vil blive benyttet til videreudvikling af eksisterende beregningsmetoder med henblik på at vurdere de energimæssige aspekter i en række mulige tekniske foranstaltninger.

Energiprogram 8: Energilagring

8.1. Tyndfilmelektroder. (EM j.nr. 1443/87-9)

Projektets formål er at fremstille og karakterisere tynde film (mindre end 20 mikron) af faste elektrodematerialer for at opnå indsigt i de fundamentale processer og strukturer, som kan være bestemmende for overførslen af ioner mellem forskellige faser og for forløbet af elektrodereaktionen.

Ved at anvende tynde elektroder bliver ionledningsevnen af katodematerialet ikke længere en begrænsende faktor og iblanding af elektrolyt i katoden derfor unødvendig. Derved opnås en enklere celleopbygning, som muliggør en lettere tolkning af, hvilke materialer der er de væsentlige.

I 1989 har arbejdet bestået i at fremstille tynde vanadiumoxidfilm (VO_x) ved hjælp af RF-sputtering. Disse film er bygget sammen med Li til Li/VO_x celler. Ved elektrokemiske målinger er VO_x filmens elektrodeegenskaber derefter blevet bestemt.

Projektet er et samarbejdsprojekt mellem Metallurgiafdelingen, Risø og to DTH-institutter: Fysisk Kemisk Institut og Fysisk Laboratorium III. Tyndfilmelektroder fremstilles ved RF-sputtering på Risø og karakteriseres ved røntgendiffraktion, SEM, Edax m.v. før levering til DTH. Her foretages karakterisering af materialernes egenskaber i batterisammenhæng. Projektet afsluttes i 1990.

8.2. Tynde faststofelektrolytter på reaktive anoder. (EM j.nr. 1443/86-1 og 1443/87-1)

Hensigten med projektet er at skaffe tilstrækkelig viden til at kunne forudsige og styre egenskaberne af tynde fastelektrolyttag. Her tænkes specielt på de reaktionslag, som dannes, når reaktive metaller bringes i kontakt med væsker, der egner sig som flydende katoder i genopladelige batterier med høj energitæthed.

Elektrolytten i et sådant batteri er det tynde lag af faststofelektrolyt, som dannes på metallet, når det dyppes i katolytten (den væskeformige katode).

I 1989 har det eksperimentelle arbejde først og fremmest bestået i at måle væksten af LiCl -lag på elektroder af Li og Li-Al-legeringer som funktion af tiden. Nogle af de opnåede resultater blev præsenteret ved en konference om impedansspektroskopi (ref 8.2.1). Hovedteknikkerne i undersøgelserne er impedansspektroskopi og scanning elektromikroskopi.

8.3. Lithiumakkumulator. (EM j.nr. 1443/88-2 og 1443/89-2)

Projektets formål er at videreudvikle en lithiumakkumulator baseret på Li- $\text{LiAlCl}_4\text{-SO}_2$ -systemet, hvis energitæthed er ca. 5 gange blyakkumulatorens. Effekttætheden er også god, men er begrænset af følgende sikkerhedsproblem: Cellen tåler på det nuværende udviklingstrin ikke at blive for varm, efter at den har været af- og opladt nogle gange. Dette skyldes, at lithiumet udfældes som tynde tråde, der i stor forstørrelse ligner sammefiltret garn. Når sådant porøst Li opvarmes sammen med $\text{LiAlCl}_4\text{-SO}_2$, startes en kemisk reaktion, som næsten momentant udløser batteriets energi. Dette kan forhindre

dres, hvis man kan få lithiumet til at fælde ud i mere kompakt form, idet reaktionen ikke sker med kompakt Li i en frisk fremstillet celle.

Arbejdshypotesen er, at den porøse udfældning af Li skyldes egenskaber ved den faststofelektrolytfilm af LiCl, som dækker lithiumet i den flydende katode. Det antages derfor, at man ved at modificere faststofelektrolytten gennem tilsætninger til den flydende katode også kan modificere morfologien af det udfældede lithium.

Der er gennemført en forsøgsrække med tilsætning af polyvinylchlorid, der er overfladeaktivt, og som har en tilstrækkelig opløselighed i den flydende katode. Resultatet var, at polyvinylchlorid har en klar effekt på dannelsen af faststofelektrolytlaget på Li-elektroden. Laget bliver meget tyndere, men det hjælper ikke på sikkerhedsproblemet, tværtimod. Andre overfladeaktive stoffer, som er stabile i katodevæsken, f.eks. $C_5H_5NHSO_3$ (pyridin svovltrioxid), vil blive afprøvet i det kommende år.

Metoderne, der er anvendt til at karakterisere faststofelektrolytlaget, har været chrono-amperometri, cyklisk voltametri, impedansspektroskopi, scanningelektronmikroskopi, energidispersiv røntgenanalyse og røntgendiffraktometri.

8.4. Udvikling af keramiske superledere. (EM j.nr. 1443/88-8)

Arbejdet med udvikling af keramiske højtemperatur superledere har fortsat en meget høj prioritet i den internationale forskningsverden. Der er således en intens aktivitet både med fremstilling af nye materialer og med teknologisk udvikling af de eksisterende. Af speciel interesse er forøgelsen af de kritiske parametre for superledning med hensyn til temperatur, strøm-tæthed og magnetisk feltstyrke samt metoder til materiale- og komponentforarbejdning. Den gunstige udvikling, som har fundet sted i det forløbne år, har givet anledning til forøget optimisme med hensyn til disse materials anvendelse såvel i tabsfrie elektriske ledninger som i mikroelektroniske komponenter.

De superledende egenskaber af de keramiske superledere er nært knyttet til materialernes struktur. Specielt er mængden af ilt og dets placering i krystallgitteret af stor betydning. Endvidere har det vist sig, at sammenhængen mellem superledning og magnetisme er afgørende forskellige fra de forhold, der kendes i traditionelle superledere. Neutrongdiffraktion er specielt velegnet til sådanne studier. Det er derfor naturligt, at neutronspretningsfaciliteterne ved DR 3-reaktoren, bl.a. det specielt udviklede neutron pulverdiffraktometer (se statusrapport 1988), har en central placering i Risø's eget materialeforskningsprogram inden for området og i samarbejdet med andre nationale og internationale grupper og laboratorier.

Risø's materialeforskning inden for keramiske superledere sigter både mod studier af grundlæggende materialeegenskaber og mere teknologisk orienterede undersøgelser, bl.a. med henblik på udvikling af metoder til fremstilling af materialer med specifikke egenskaber. Blandt det udførte arbejde skal nævnes fastlæggelse af det strukturelle fasediagram for den keramiske superleder $YBa_2Cu_3O_{6+x}$ som funktion af iltens sammensætning x og temperatur med samtidig bestemmelse af iltens ligevægtstryk. Disse undersøgelser bidrager både til forståelse af sammenhængen mellem struktur og superledende egenskaber og til optimering af fremstillingsproceduren for dette materiale. Til formålet er udviklet en teknik, hvor strukturelle undersøgelser med neutrongdiffraktion kombineres med gasvolumetrisk bestemmelse af iltindhold og -ligevægtstryk. Metoden har også været anvendt til studier af superlederen

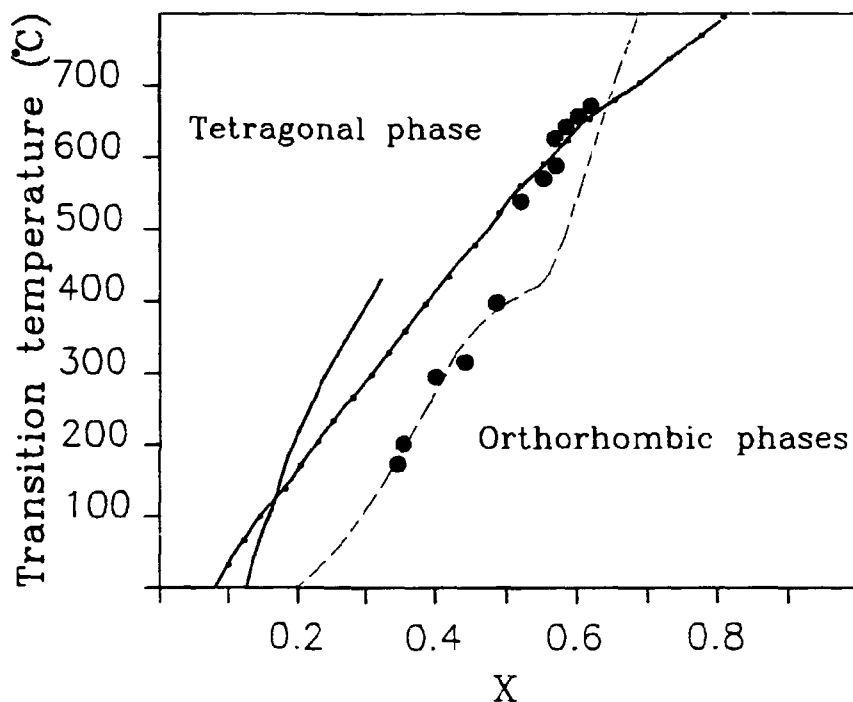


Fig. 8.4.1. Strukturelt fasediagram for den keramiske superleder $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ bestemt ved neutrondiffraction og gasvolumetri. Linierne er teoretiske model-beregninger fra litteraturen. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ skal fremstilles i orthorhombisk fase for at blive superledende ved lav temperatur.

$\text{Nd}_{1.85}\text{Ce}_{0.15}\text{CuO}_{4+x}$, hvor de superledende egenskaber er kritisk forbundet med meget små variationer i iltindholdet, og hvor de elektroniske forhold måske er af en anden karakter end i de øvrige keramiske superledere. Endelig skal nævnes en strukturel undersøgelse af de magnetiske egenskaber af $\text{YPr}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ fremstillet med et iltindhold, der kun er ganske lidt højere end den kritiske værdi for superledning i materialet. Ved lave iltkoncentrationer, hvor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ ikke er superledende, observeres magnetisk orden, men de foretagne undersøgelser afslører tilstedeværelsen af superledning samtidig med magnetisme i et snævert iltkoncentrationsinterval.

8.5. Brændselsceller med iltionledende faststofelektrolyt.

(EM j.nr. 1143/87-10, 1443/88-7 og 1443/89-6)

Formålet med disse projekter er, dels at bygge og afprøve brændselsceller med iltionledende elektrolyt, dels at udvikle og afprøve nye materialer til sådanne celler. Der er tale om brændselsceller i laboratoriestørrelse. Oxid brændselscellen (SOFC = Solid Oxide Fuel Cell) er en højtemperatur (1000°C) brændselscelle, som konstrueres udelukkende af keramiske materialer.

Denne brændselscelle har den fordel frem for andre typer, at den har høj virkningsgrad og formentlig ikke kræver en ekstern reformerdel til omdannelse af naturgas til hydrogen.

Projektarbejdet består i at udvikle fremstillingsmetoder til cellens fire hovedkomponenter: Itelektroden, elektrolytten, brændselselektroden og celleforbindelsen. Et væsentligt led i denne udvikling er at karakterisere de fremstillede materialer og komponenter.

Det brede spektrum af eksperimentelle teknikker til brændselscelleforskning, som er etableret på Metallurgiafdelingen i forbindelse med EFP-projekterne, er beskrevet i ref. 8.5.1.

Itelektroden

Itelektrodematerialer af lanthanmanganit-familien er fremstillet ved tre forskellige metoder. Karakteriseringen er foretaget med hensyn til elektrisk ledningsevne, struktur og homogenitet. De her fremstillede materialer har bedre elektriske egenskaber end rapporteret i litteraturen.

Elektrodebelægninger er fremstillet ved RF-sputtering. $\text{La}(\text{Sr})\text{MnO}_3$ og UBaCuO -type superledende lag op til 0.5 μm tykkelse er pålagt zirconiumoxidkeramik.

En forsøgsrække med direkte påmaling af $\text{La}(\text{Sr})\text{MnO}_3$ på en sintret elektrolyt er gennemført, hvor det lykkedes at opnå en hæderlig vedhæftning, men meget mere udviklingsarbejde er nødvendigt.

Haldor Topsøe A/S har tapecastet tynde lag af $\text{La}(\text{Sr})\text{MnO}_3$ ud fra pulver. Risø har målt sintringshastighed på tapen, og HTAS har målt porøsitet som funktion af temperaturen. På længere sigt er det tanken, at sintringshastigheden af tapes af luftelektrode og elektrolyt skal tilpasses hinanden, så de kan sintres direkte sammen.

Elektrolytten

En Risø-tegnet tapecasting maskine til fremstilling af tynde, max. $12 \times 80 \text{ cm}^2$ keramikplader er med succes blevet bragt i drift. Maskinen er indbygget i et stålskab med ventilation, således at der kan arbejdes med opslemninger baseret på organiske opløsningsmidler.

Arbejdet med udvikling af nye og bedre tape casting slips (blandinger af keramikpulver og organiske opløsningsmidler) til fremstilling af tynde $\text{Zr}(\text{Y})\text{O}_2$ film er fortsat. Det er lykkedes at fremstille 0,1 mm tynde $\text{Zr}(\text{Y})\text{O}_2$ -tapes, som er plane efter sintring.

En sammenligning mellem dansk og udenlandsk fremstillet tynd zirconiumoxidkeramik er foretaget og publiceret. Det danske materiale har gode elektriske og mekaniske egenskaber (ref. 8.5.2. og 8.5.3.).

Indflydelse af strontiumoxid på den elektriske ledningsevne af magnesiumstabiliseret zirconia er påvist (ref. 8.5.4.).

Brændselselektroden

Elektroder af $\text{Ni-Zr}(\text{X})\text{O}_2$ -cermet (en sammensintret blanding af Ni-pulver og $\text{Zr}(\text{Y})\text{O}_2$ -pulver) er sintret på $\text{Zr}(\text{Y})\text{O}_2$ elektrolyt. Cermetpulveret påførtes ved at male en opslemning af cermetpulveret på sintret keramik. Også Ni-elektroder er påført elektrolytten ved hjælp af RF-sputtering. I begge tilfælde virkede elektroderne tilfredsstillende.

Hvis man forsøger at omsætte methan (naturgas) på en nikkelholdig elektrode, kan der udfældes store mængder kulstof, som blokerer elektroden. Derfor forsøger Risø at finde nye keramiske materialer, som er bedre egnet til direkte omsætning af naturgas. Allerede i 1988 lykkedes det at påvise, at CeO_2 baserede keramikker ser lovende ud. Dette arbejde er fortsat, og dele er

publiceret (ref. 8.5.5.). Potentielle materialer er karakteriseret med hensyn til ledningsevne og termiske ekspansion (ref. 8.5.6), og sammenhængene mellem ledningsevne og iltpartialtryk er fastlagt for adskillige sammensætninger og temperaturer.

Celleforbindelsen

Materialer, der skal forbinde de enkelte celler i en cellestav, bliver udsat for såvel ilt som brint ved høje temperaturer. Et at de få elektronledende materialer, som kan tåle dette, er Lanthanstrontium-chromit ($\text{La}(\text{Sr})\text{CrO}_3$).

Risø har i 1989 gennemført en omfattende litteraturundersøgelse vedrørende fremstillingsmetoder og egenskaber for lanthanchromitter. På grundlag af den indhentede viden lykkedes det at fremstille stænger af $\text{La}(\text{Sr})\text{CrO}_3$ med tilfredsstillende tæthed og ledningsevne.

Testfaciliteter

En afprøvningsfacilitet for plane enkeltceller op til $45 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$ er blevet bygget. Afprøvning af celler kan foretages med hydrogen og andre omsættelige gasser. Atmosfærisk luft anvendes som iltkilde. Hydrogentilførsel og strømopsamling sker via en metallisk Risø-designet manifold. Tryk- og temperaturregulering er afprøvet i december 1989. Brændselscelletest begynder primo januar 1990.

En forsøgsfacilitet til afprøvning af enkeltelektroder og til at undersøge elektrodereaktionerne er under opbygning. En gaschromatograf og udstyr til kontrol og måling af gasflow er blevet anskaffet. Det er målet at udvikle systemet til ved hjælp af computerstyring fuldautomatisk at kunne afvikle forsøg, som involverer temperaturændringer og variationer i elektrisk spænding og strøm samt at måle de resulterende ændringer i brændselsomsætningsgrad og sammensætning af afgangsgassen.

Forskningsprogram 9: Internationalt samarbejde

9.1. Fusion. (EM j.nr. 1343/87-1 og 1343/88-1)

Fysikafdelingens plasmafysiksektion varetager opgaver, som spænder fra grundlæggende plasmafysik til fusionsrelateret forskning og udvikling. Aktiviteterne er en del af det fælleseuropæiske fusionsprogram, som koordineres af EURATOM og omfatter dels associeringsaftaler med de nationale laboratorier, dels det fælleseuropæiske forsøgsanlæg JET. Arbejdet vurderes løbende af internationale komitéer. 1989-programmet har omfattet følgende arbejdsområder:

1.

Grundlæggende plasmafysiske undersøgelser med relevans for fusionsforskning. Dette arbejde omfatter eksperimentelle undersøgelser, teoretiske studier og beregninger på store computerfaciliteter. Arbejdet koncentrerer sig om turbulens og turbulent diffusion i plasmaer, der er holdt indesluttet i magnetfelter samt om elektromagnetiske bølgers vekselvirkning med plasmaer.

2.

Undersøgelser af vekselvirkningen mellem piller af fusionsbrændstof (deuterium) og plasmaer, som i det væsentlige er et teoretisk arbejde, hvor man prøver at lave modeller for vekselvirkningen og verificere disse modeller ved sammenligning med resultater, der er opnået i de store tokamak eksperimenter inden for det europæiske fusionsprogram.

3.

Deltagelse i forskningsprogrammet ved JET, hvor Risøgruppen har været med til at løse forskellige specialopgaver. Medlemmer af gruppen har i den forbindelse opholdt sig ved JET tilsammen i ca. 1 år.

4.

Udvikling af flerskudspille-injektorer for det fælleseuropæiske fusionsprogram. Risø-gruppen har påtaget sig en delvis betalt designopgave for to italienske fusionslaboratorier i henholdsvis Frascati og i Padova, hvor Risø skal konstruere en prototype med 8 piller. Arbejdet hermed er afsluttet primo 1989. Risø har givet tilbud til de italienske laboratorier på fremstilling af nøglefærdige injektorsystemer. Andre europæiske laboratorier har også udtrykt interesse for Risøs injektorsystemer.

5.

Overfladefysik. Studierne af bestrålede kondenserede gasser er fortsat. Hovedvægten er lagt på erosionsudbyttets afhængighed af filmtykkelsen af deuterium bestrålet med brintioner. Molekylære effekter undersøges ved bestråling med molekylære brintioner. Udbyttmålingerne er sammenholdt med luminescensmålinger.

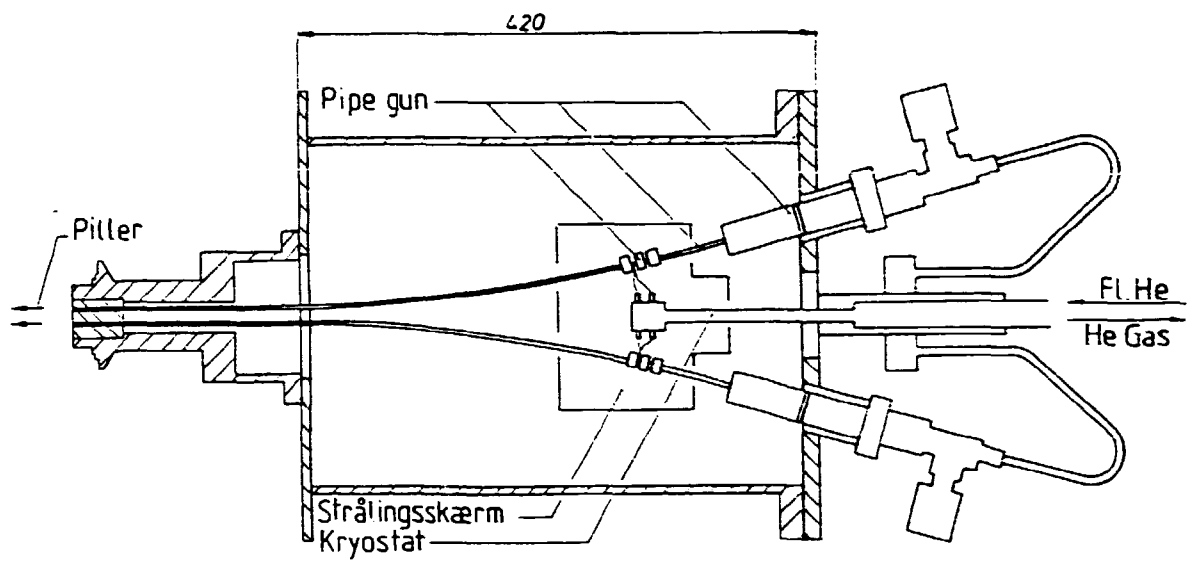


Fig. 9.1.1. Flerskudspilleinjektor.

Forskningsprogram 10: Udredninger

10.1. Spredning af informationer om dansk energiforskning og -teknologi. (EM j.nr. 151/88-25)

Baggrunden og formålet med dette emne er, at det er en væsentlig forudsætning for dansk forskning og erhvervsliv, at forskning og udvikling kan ske på et niveau, som er kvalitativt på højde med udlandets. Det er derfor vigtigt, at Danmark har kendskab til andre landes forskning og forskningsresultater og udveksler informationer med andre lande.

Energiministeriet har erkendt betydningen af dette og har derfor indgået internationale aftaler om informationsudveksling på energiområdet. Det drejer sig især om aftaler med U.S. Department of Energy og International Energy Agency's program Energy Technology Data Exchange.

På ministeriets vegne varetager Risø Bibliotek de praktiske opgaver i forbindelse med ovennævnte aftaler.

Risø Bibliotek foretager derfor en systematisk overvågning, indsamling, emnemæssig analyse og edb-registrering af litteratur udgivet i Danmark og af beskrivelser af danske forskningsprojekter.

Den edb-registrerede information sendes alt efter emne og type til en række internationale databaser. Det drejer sig om Energy Data Base (IEA Energy Technology Data Exchange), Nordisk Energi Indeks (Nordisk Ministerråd), Coal Data Base (IEA Coal Research) og SESAME (EF's Generaldirektorat XVII).

For EFP-projekter og deraf resulterende publikationer kræver Energiministeriet i deres bevillingsskrivelser, at en beskrivelse af projektet sendes til Risø Bibliotek straks efter modtagelsen af bevillingen, og at alle publikationer fra et projekt afleveres til biblioteket i to eksemplarer. En lignende aftale findes for de projekter, der bevilges af Teknologirådets Styregruppe for Vedvarende Energi.

De publikationer, som Risø Bibliotek modtager i forbindelse med registrering af dansk energilitteratur, indgår på normal vis på biblioteket og stilles til rådighed for udlån til alle som en del af bibliotekets normale funktioner som offentligt bibliotek. Risø Bibliotek har således al væsentlig dansk energilitteratur siden 1981 til almindeligt udlån.

Biblioteket deltager løbende i videreudvikling af Energy Data Base. Overbibliotekar Birgit Pedersen har således på Energiministeriets vegne i 1989 deltaget i IEA-ETDE's eksekutivmøder i Oak Ridge, USA og i London. Biblioteket kommenterer ligeledes løbende tekniske spørgsmål i forbindelse med databasen.

I 1989 er der etableret et tæt samarbejde med den danske koordinator for CADDET - Center for Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies - under IEA.

Blandt opgaverne for Energiministeriet hører også markedsføring af de ovennævnte databaser. Dette er sket ved præsentation af baserne på energi- og miljøkonferencer og ved udarbejdelse og udsendelse af brochurer.

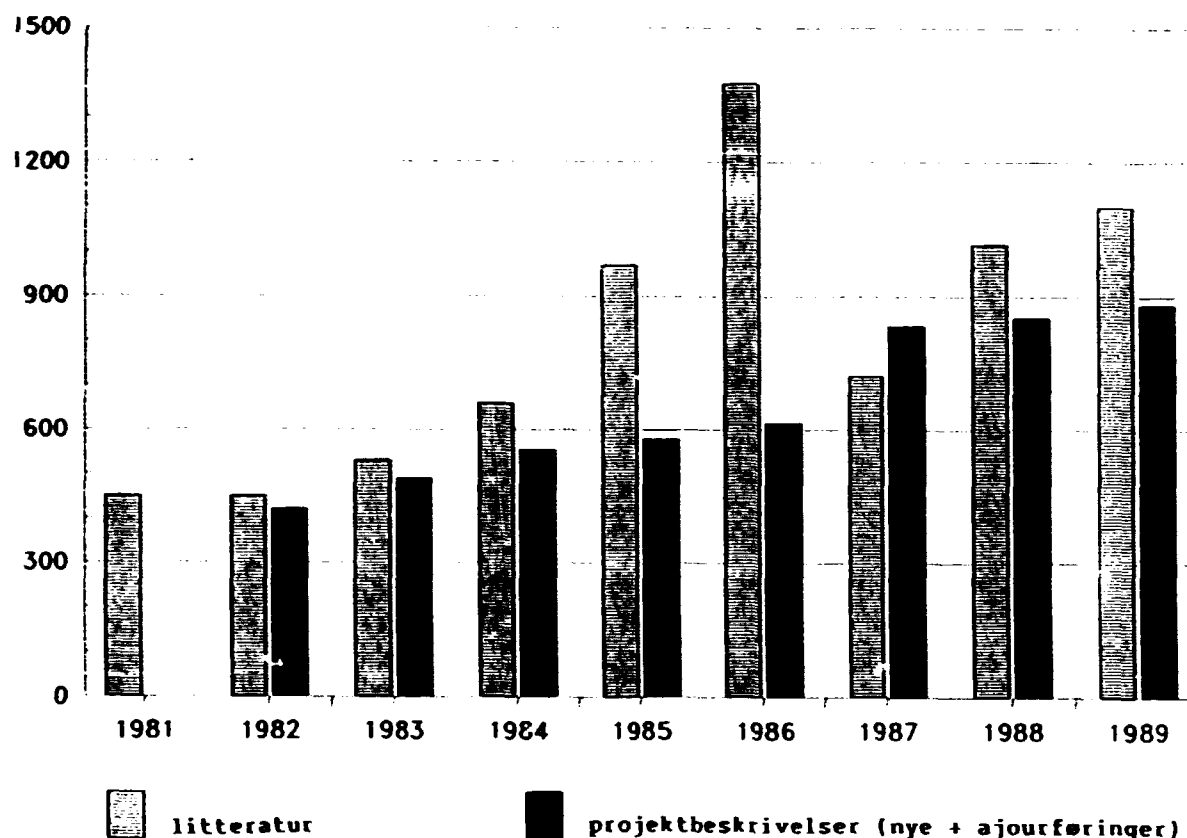


Fig. 10.1.1. Statistik over antal registrerede enheder.

10.2. Udvikling af model for varme- og elproducerende energisystemer. (EM j.nr. 151/87-15)

El- og varmebehovene samt energiindholdet i de lokale energiressourcer såsom sol og vind varierer kraftigt over tiden. Hvis man ønsker, at energiproduktionen fra et anlæg, hvori disse energikilder indgår, skal følge tidsvariation i energibehovene på en optimal måde, er det en hjælp ved valg af driftsstrategi og dimensionering at foretage en simulering med korte tidsskridt af anlæggets drift. Ved et antal simuleringer kan man finde frem til en økonomisk optimal dimensionering af de enkelte komponenter i anlægget.

Nærværende projekt vedrører SIKKE-modellen, som er udviklet til ovennævnte type beregninger. Arbejdet er blevet finansieret af Energiministeriets forskningsprogram samt Nordisk Ministerråd.

Projektet har haft til formål at videreudvikle SIKKE-modellen med inkludering af lagringsteknologier for el og varme, således at det er muligt at simulere flere lagre og styre produktionen til det ønskede lager.

De kollektive energisystemer, som modellen kan behandle, er afgrænset til at omfatte kombinerede anlæg, der forsyner en landsby eller mindre by med fjernvarme samt producerer elektricitet, som enten forbruges i byen eller sælges til et ydre elsystem. Kun det varmebehov, der stammer fra huse, der er tilsluttet fjernvarmenettet, er medtaget i modellen.

Simuleringsmodellen kører nu på Risø VAX-8700 maskine i en standard FORTRAN-77 version.

Modellen er nu udbygget således, at den beregnede årlige energiproduktion samt brændselsforbrug indtastes i en PC-økonomimodel, hvor samfunds- og privatøkonomien hurtigt kan beregnes med forskellige økonomiske forudsætninger.

Modellen er blevet anvendt til simulering af forskellige anlægssammensætninger, hvori der indgik lagre. Forskellige vind/diesel-anlæg er blevet gennemregnet, herunder et anlæg på de Cap Verdiske øer. Modellen er blevet benyttet i et teknologiråds projekt vedrørende et pumpekraftværk i Vang på Bornholm. Projektets resultater har levet op til det forventede.

10.3. Præsentation af EFP-projektresultater på olie/gas området for olieselskaber og offshorevirksomheder. (EM j.nr. 151/88-51)

I juli måned udsendtes hæftet: »DANISH GEOLOGY and TECHNOLOGY at DANISH RESEARCH INSTITUTES« til i alt 250 indenlandske og udenlandske olieselskaber og andre virksomheder med relation til oliebranchen. Desuden blev hæftet sendt til kontaktpersoner i Energiministeriet og Energistyrelsen, ligesom DAN-PRISE's medlemsinstitutioner/-institutter hver fik et antal eksemplarer tilsendt til fordeling.

I tiden derefter har DAN-PRISE i samarbejde med medlemmerne forbedret og udarbejdet et katalog over fælles projektforslag, som sammen med ovennævnte hæfte er sendt til de 52 medlemmer af de 7 konsortier, som har fået tildelt koncessioner i 3. runde. Formålet er at udbrede kendskabet til DAN-PRISE-medlemmernes F&U samarbejdsprojekter med olieindustrien på kommerciel basis.

Projektet fortsætter i 1990.

Ressourcer

Den indsats, som i de foregående afsnit blev beskrevet som enkelaktiviteter, involverer direkte medarbejdere i de fleste af Risøs afdelinger og anlæg. Mange projekter gennemføres ved medvirken fra flere afdelinger, hvorved Risøs muligheder for at gennemføre opgaver i en projektorienteret tværfaglig organisation udnyttes. De fleste projekter har udbytte af den tekniske og administrative service, der kan ydes f.eks. af regnemaskinanlæg, centralværksted samt afdelinger for udvikling af mekanik og elektronik.

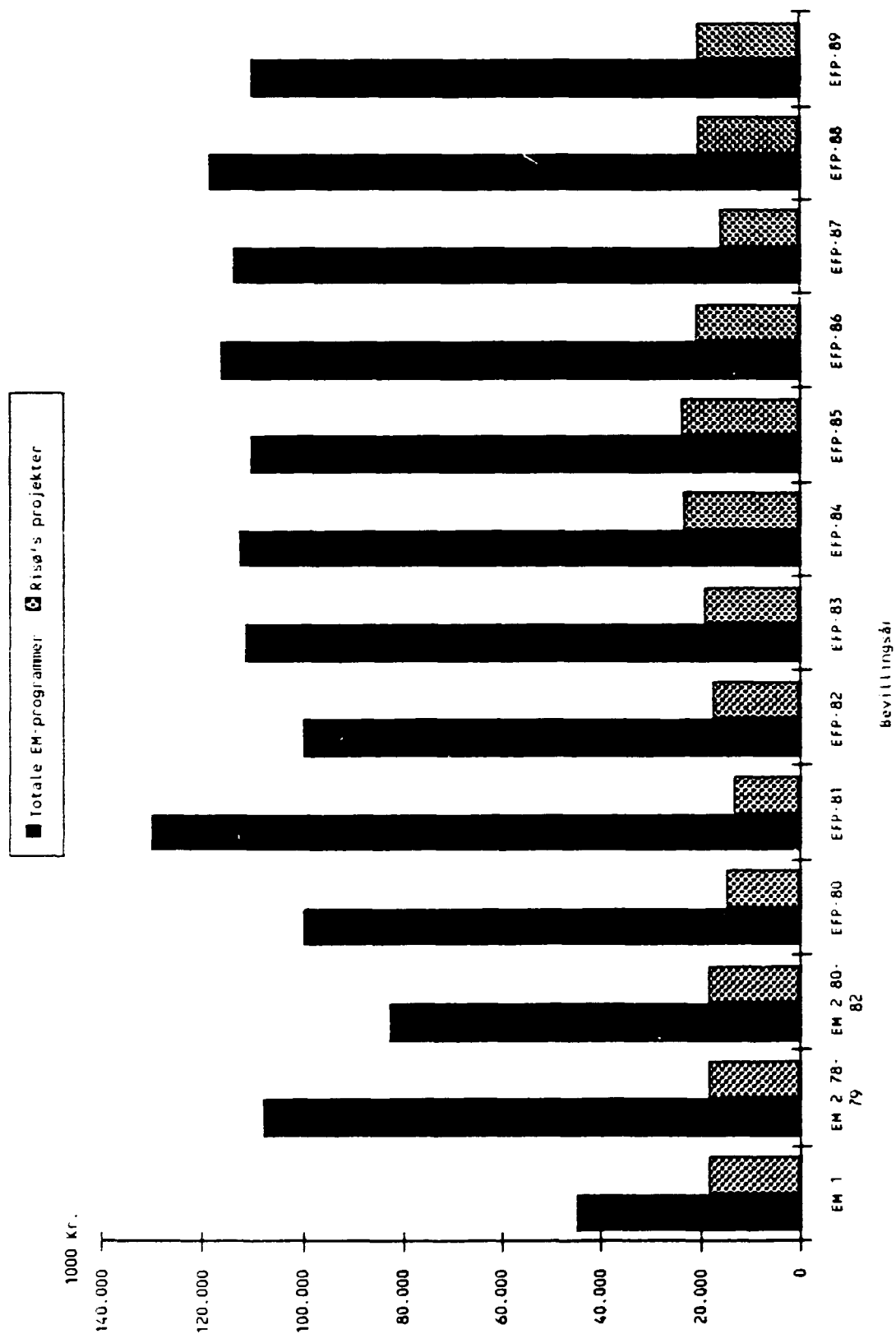
Tabel 1 indeholder oplysninger om de energiministerielle projektmidler, der er til rådighed for de forskellige aktiviteter, men ikke de midler, der tilføres projekterne af anden art, bl.a. Risøs egne bevillinger eller tilsagn fra EF og nordiske forskningsprogrammer. Det ses, at der foreligger bevillinger på i alt 240 mio. kr. til og med EFP-89. De fleste af de energiministerielle projekter gennemføres som anvendelsesorienterede projekter, der viderefører den ekspertise, der er opbygget ved et mangeårigt forsknings- og udviklingsarbejde på Risø.

Fig. 1 viser de årlige energiministerielle midler, som bevilges totalt, samt den del, der bevilges til Risø. Fig. 2 giver regnskabsoplysninger om de forbrugte midler i perioden 1985-89. Det fremgår, at en ikke ubetydelig del af bevillingerne medgår til fremmede tjenesteydelser, dvs. kanaliseres gennem Risø til underleverandører. Det er samtidig anført, hvor stor en procentdel lønnen udgør af den samlede projektsum.

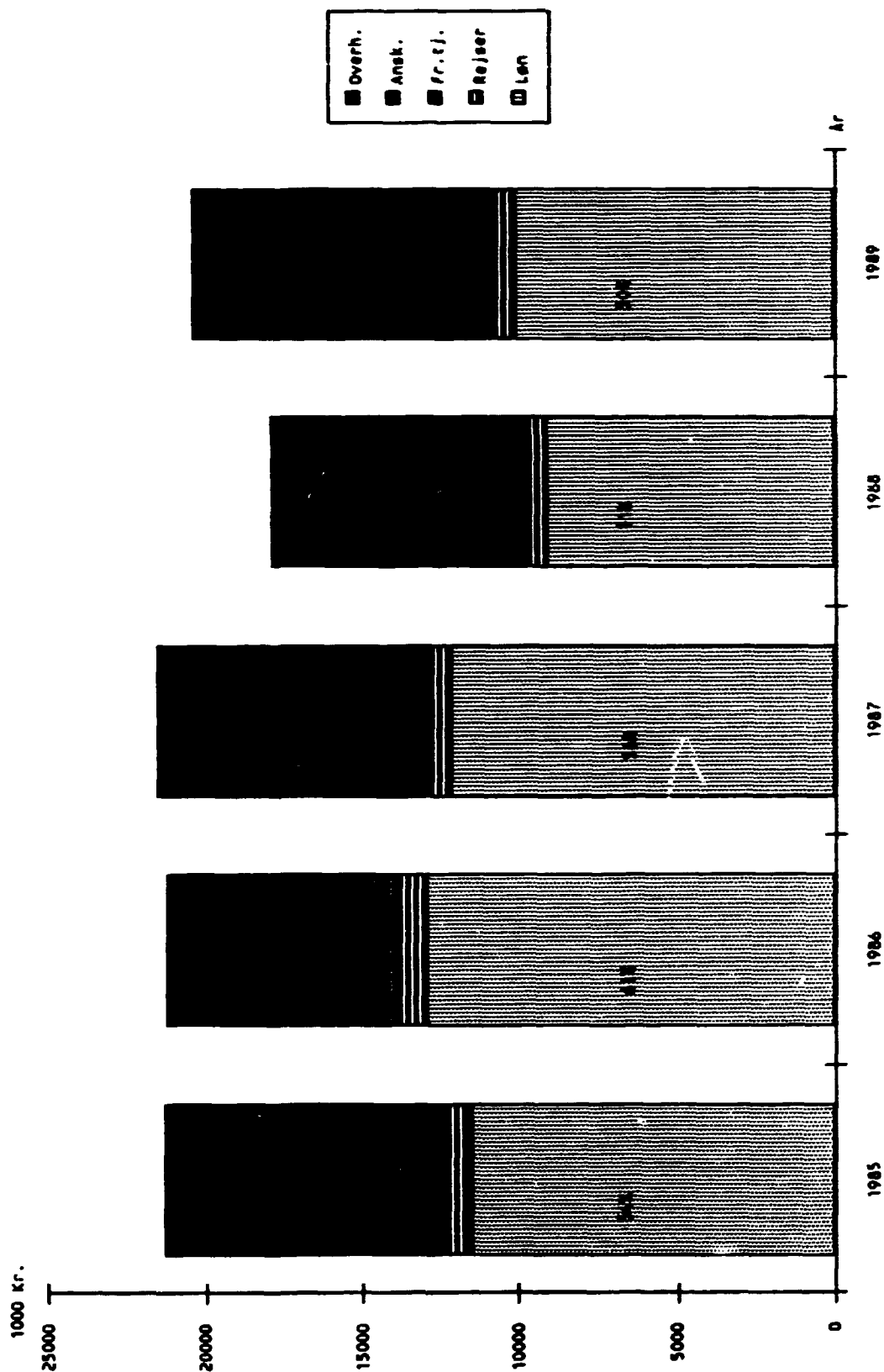
Som noget nyt har Energiministeriet fra 1986 accepteret begrebet »overhead«. For EFP-86 er der tillagt et overhead på 13% af lønsummen, og for EFP-87 og fremover tillægges 30% af lønsummen. Denne overheadprocent udgør dog kun en mindre del af de samlede overhead-omkostninger. Til sammenligning kan nævnes, at Risø for kommercielle kontrakter beregner sig et overhead på 125%, excl. statsafgiften.

Endelig viser figur 3, at antallet af Risøs løbende EFP-projekter var stabilt over en periode på 5 år, men at antallet er reduceret til 40 i 1989. Det gennemsnitlige forbrug pr. projekt pr. år er faldet fra 1.125 kkr. i 1981 til 512 kkr. i 1989.

Tabel 2 giver en oversigt over Risøs repræsentation i forskningsudvalgene.



Figur 1. Oversigt over de samlede årlige EFP-bevillinger samt Risøs andel.



Figur 2. Regnskabstal for perioden 1985-89. Procentallene angiver lønandelen. Det bemærkes, at overhead-begrebet første gang blev indført i 1986.



Figur 3. Antal løbende EFP-projekter samt omsætning pr. projekt.

Tabel 1. Oversigt over fordelingen af den del af de energiministerielle forskningsprogrammer, der forvaltes af Risø. Beløbene angiver dog kun en del af de midler, der er til rådighed for projekterne, idet midler, der tilføres fra Risøs egne bevillinger, ikke er medregnet. I oversigten er ikke medtaget underleverancer fra Risø til de EFP-projekter, der forvaltes af andre institutioner.

Omr. nr.	Titel	EM 1+2 EFP-80- 85	EFP-86	EFP-87	EFP-88	EFP-89	Total
1.	Olie og Naturgas	7.900	1.950	3.200	3.100	3.189	19.339
2.	Anv.af biomasse til energiformål	540				185	725
3.	Prod. og fordel. af el og varme	13.830	2.100	1.940	1.625	1.363	20.858
4.	Vindenergi	32.610	5.375	6.655	6.840	6.944	58.424
6.	Energianvendelse i i erhvervslivets proces.og produ	3.445	3.165		540	57	7.207
8.	Energilagring og materialeforsk.	28.680	2.550	2.985	1.735	4.149	40.099
9.	Internationalt samarbejde	27.967	4.200		5.400	3.313	40.880
10.	Udredning og do- kumentation m.v.	1.574	1.551	1.197	1.020	1.282	6.624
*	Landbrug	1.625					1.625
*	Uran	42.565					42.565
*	Varmepumper	2.000					2.000
Total kkr.		162.736	20.891	15.977	20.260	20.482	240.346
* Er udgået som selvstændige områder under EFP.							

Tabel 2. Risøs repræsentation i EFP-forskningsudvalg.

Forskningsudvalg vedr.:	Repræsentant
1. Kulbrinter	Forskningsdirektør Peter Stranddorf
2. Biomasse	Kontorchef Ib Skovgaard (medl. af Risøs bestyrelse)
3. El og varme	Afdelingsleder Bjarne Micheelsen
4. Vindenergi	Afdelingsleder Erik Lundtang Petersen
	Civilingeniør, lic.techn. Flemming Øster
5. Energigyanvendelse i industrielle processer og produkter	Civilingeniør Niels A. Kilde
7. Transport	Civilingeniør Eivind Adolph
8. Energilagring	Afdelingsleder Niels Hansen

Referenceliste

- 1.3.1. »Risøs indsats i forbindelse med Energiministeriets forskningsprogrammer, status ultimo december 1988«. Risø-M-2767.
- 2.1.1. Jørgensen, L.B. (febr. 1989). »Forgasning af halm - EFP 88, Delprojekt 1: Teori og teknisk grundlag - litteraturudredning«. Van den Aarsen, F.G., Beenackers, A.A.C.M., Susanto, H., Van Swaaij, W.P.M. (1989). »Energy Recovery by Gasification of Agricultural and Forestry Wastes in Fluidized Bed Reactors and in Moving Bed Development and Reactor Modelling«. Commission of the European Communities, EUR 10012 EN, 1989.
- 3.1.1. Christiansen, H., Danielsen, E., Jørgensen, K.H., og Mackenzie, G.A. (1989). »Miljømæssige aspekter: EDB- model vedrørende miljøeffekter ved energiproduktion«. Risø-M-2765.
- 3.1.2. Bille-Hansen, J., Hovmand, M.F., og Brodersen, K. (1989). »Indsamling af data samt anvendelse af jordbundskemimodellen ECCES på skovjord«. Risø-M-2785.
- 3.1.3. Mackenzie, G.A. »Application of the soil chemistry model to forest soil«. Risø-M-2843.
- 3.4.1. Astrup, P., Clausen, S., Gjernes, E., Jensen, P.A., Rathmann, O. »Målinger til validering af EDB-modeller af kulstøvsfyr«.
- 3.4.2. Cortzen, F.W. »Laser Based Measurements of Temperature with CARS, in the Risø Furnace.«.
- 3.6.1. Dall, H. (1988). »Characteristic parameters of gas- particle flow«. Risø-M-2758.
- 3.6.2. Astrup, P. (1988). »PAFCA, PArticle Flow Calculations. Programbeskrivelse«. Risø-M-2759.
- 3.6.3. Astrup, P., Gjernes, E. (1988). »Numerical prediction of a turbulent gas-particle duct flow«. Risø-M-2780.
- 3.6.4. Astrup, P., Dall, H., Gjernes, E., Olsen, A., Forskningscenter Risø, Hadvig, S., Jensen, P. Tørslev, Rasmussen, N.B. Kampp, Lab. for Varme- og Klimateknik, DTH (1989). »EFP 85: Udvikling af edb-model for stationær turbulent gaspartikel strømning«.
- 3.7.1. Clausen, S., Jensen, P.A., Rathmann, O. (1989). »Afprøvning og verifikation af laserbaserede metoder«.
- 3.7.2. Clausen, S., Jensen, P.A., Rathmann, O. (1990). »LDA Velocity Measurement in a 500 kW Pulverized Coal Flame«. Extended abstract send for acceptance at the 5. International Symposium on Applications of Laser techniques to Fluid Mechanics.

- 3.7.3. Clausen, S. (1989). »Mie calculations of scattered light from laser Doppler anemometers for a wide range of particle sizes«, sendt til Applied Optics.
- 3.7.4. Jensen, P.A., Rathmann, O. (1990). »Risø's kulstøvsfyrede forsøgs-kedel«. Delrapport for EFP-projekterne EM nr. 1323/87-1 og 1433/86-16.
- 3.7.5. Dunn-Rankin, D., Jensen, P.A., Steeper, R.R. (1988). »Using Mie scattering for measuring size changes of individual particles«.
- 4.1.1. Poulsen, Uwe S. (1989). »Aerodynamic of a full-scale, non rotating wind turbine under natural wind conditions«. Risø-M-2768.
- 4.1.2. Kretz, Allan, Vølund, Per (1990). »Funktionsafprøvning af Prøvestationens Forsøgsmølle«. Risø-M-2815.
- 4.2.1. Christensen, Henrik, Madsen, Helge Aagaard (1989). »Vortex-panel metoden, beregningsmodel for strømning omkring et profil«. Risø-M-2814.
- 4.3.1. Rasmussen, Fl., Vølund, Per (1989). »Metoden til beregning af ud-mattelseslaster, anvendt på Windane 40/2«. Risø-M-2795.
- 4.3.2. Madsen, Peter Hauge (jan. 1990). »Contributions from the Department of Meteorology and Wind Energy to the EWEC'89 Conference in Glasgow UK«.
- 4.9.1. Abild, J. og Nielsen, B (1989). »Extreme Values of Wind Speeds in Denmark«. Risø kontraktrapport til A/S Storebæltsforbindelsen.
- 4.9.2. Højstrup, J., Larsen, S.E. og Madsen P.H. (1989). »Power Spectra of horizontal Wind Components in the neutral atmospheric surface Layer«. In: Annales Geophysicae, 1989 special issue on EGS XIV General Assembly.
- 4.9.3. Kristensen, L. og Jensen, N.O. (1989). »Gust Statistics for the Great Belt Region«. Risø-M-2828.
- 4.9.4. Kristensen, L. (1989). »In search of a Gust Definition«. Risø-M-2796.
- 4.10.1. Courtney, M., Højstrup, J., Jensen, N.O. (1990): »A field study of flow over an escarpment«. Proceedings of the Ninth AMS Symposium on Turbulence and Diffusion, Roskilde, Denmark.
- 4.10.2. Højholt, P., Jensen, N.O., Troen, I. (1990). »Model comparison with flow over an escarpment«. Proceedings of the Ninth AMS Symposium on Turbulence and Diffusion, Roskilde, Denmark.
- 4.10.3. Jensen, N.O. (1983). »Escapment induced flow pertubations, a comparison of measurments and theory«. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn, 15, 243-251.

- 8.2.1. Mogensen, Mogens (1989). »Proceedings of First International Symposium on Electro-chemical Impedance Spectroscopy, Bombannes, France, May 22-26, 1989«.
- 8.4.1. Als-Nielsen, J., Andersen, N.H., Broholm, C., Clausen, K.N., Lebech, B. og Poulsen, H.F. (1989). »Oxidation kinetics in oxygen deficient $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ studied by neutron powder diffraction«, IEEE Transactions on Magnetics vol. 25 no. 2, p. 2254-2261.
- 8.4.2. Andersen, N.H., Dobrzynski, L., Ihringer, J., Lebech, B., Prandl, W., Waliszewski, J. og Wisniewski, A. »X- ray, neutron and magnetization studies of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ irradiated by fast neutrons«.
- 8.4.3. Als-Nielsen, J., Chou, H., Nielsen, M., Sato, M., Shamoto, S., Shirane, G. and Tranquada, J.M. »Magnetic correlations in the $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ at superconducting concentrations«, submitted for publication.
- 8.5.1. Poulsen, F.W. (1989). »Techniques for the Danish Solid Fuel Cell project«, Risø-M-2778.
- 8.5.2. Bentzen, J.J., Bilde-Sørensen, J.B., Kindl, B., Paulsen, H., and Poulsen, F.W. (1989). »Thin tape cast Zirconia for solid oxide fuel cells«. Proceedings of the 5th Scandinavian Symposium on Materials Science, May 22-25, 1989. Ed.: I. Hansson and H. Lilholt, 1989, 149-157.
- 8.5.3. Bentzen, J.J., Bilde-Sørensen, J.B., and Poulsen, F.W. (1989). »Conductivity of thin YSZ-materials«. Proc. of SOFC-Nagoya, International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells, 13-14 November 1989 (Publ. by SOFC Society of Japan)(1989), 93-100.
- 8.5.4. Bilde-Sørensen, J.B., Ghanbari-Ahari, K., Hartmanova, M., Knab, G.G, and Poulsen, F.W. (1989). »Oxygen Ion Conduction in Ternary Zirconia Mixtures: Effect of SrO on MgSZr «. (Accepted for publication in Solid State Ionics, 1989).
- 8.5.5. Bentzen, J.J. and Mogensen, M. (1989). »Oxidation of methane on oxide electrodes at 800-1000°C«. Proc. of 1st International Symposium on solid oxide fuel cells, Florida, USA, Oct. 15-20, 1989. (Publ. the Electrochemical Society). Proc. 89-11, 99-110.
- 8.5.6. Bentzen, J.J. and Schwartzbach H. (1989). »Electrical conductivity, structure and thermal expansion behaviour of $\text{ZrO}_2\text{-CeO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ solid solutions«. (Accepted for publication in Solid State Ionics, 1989).
- 9.1.1. Chang, C.T. and Villoresi, P. (1989). »Ablation of a cylindrical hydrogen pellet in a magnetized plasma.« 6th European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Venice, Italy, vol. 13B, Part IV, 1401-1404.
- 9.1.2. Coutsiias, E.A., Hansen, F.R., Huld, T., Knorr, G. and Lynov, J.P. (1989). »Spectral methods in numerical plasma simulation«. Phys. Scripta 40, 270-279.

- 9.1.3. Kofoed-Hansen, O., Pécseli, H.L. and Trulsen, J. (1989). »Coherent structures in numerically simulated plasma turbulence«. Phys. Scripta 40, 280-294.
- 9.1.4. Schou, J., Stenum, B., Sørensen, H. and Gürtler, P. (1989). »Observation of fluorescence from heavy rare-gas hydrides and deuterides in electron-irradiated matrices of solid hydrogen and deuterium«. Phys. Rev. Lett. 63, 969-971.
- 9.1.5. Sørensen, H., Engbæk, P., Nordskov, A., Sass, B., Villorresi, P. and Weisberg, K.V. (1989). »A multishot pellet injected design. Fusion Technology 1988, 704- 708«. In »Proceedings of the 15th Symposium on Fusion Technology«, Utrecht, The Netherlands, 19-23 September 1988, Elsevier Science Publishers B.V. 1989.
- 10.1.1. Brochurer
Informationssystemer om Energi. Oplysninger om dansk og international energiforskning og -teknologi. Maj 1989. 4 sider.

Bibliographic Data Sheet Risø-M-2880

Title and author(s)

**The Contribution of Risø National Laboratory to
the Research and Development Programs of the
Danish Ministry of Energy
Status ultimo December 1989**

(in Danish)

P. Skjerk Christensen og**Birgitte Brown Jørgensen**

ISBN

87-550-1659-6

ISSN

0418-6435

Dept. or group

**System Analysis Dept.
and Management**

Date

July 1990

Groups own reg. number(s)

Project/contract no.

Pages	Tables	Illustrations	References
60	3	24	45

Abstract (Max. 2000 characters)

Since 1978 Risø has been responsible for a number of projects in the research and development programs of the Danish Ministry of Energy. This report gives a review of current and finished projects. All current projects are described briefly, stating status and results obtained, while the results of finished projects are described in more detail. Risø's contribution to the organization and the administration of the programs is mentioned. Finally a list of references is given.

Descriptors INIS/EDB

**BIOMASS, COAL, COMBUSTION, ENERGY STORAGE,
NATURAL GAS, PETROLEUM, RESEARCH PROGRAMS,
THERMONUCLEAR REACTIONS, WIND POWER**

Available on request from Risø Library, Risø National Laboratory,
(Risø Bibliotek, Forskningscenter Risø), P.O.Box 49,
DK-4000 Roskilde, Denmark.

Telephone + 45 42 37 12 12, ext. 2268/2269

Telex 43 116. Telefax + 45 42 36 06 09.

**Rekvireres fra
Risø Bibliotek
Forskningscenter Risø,
Postbox 49, 4000 Roskilde
Telefon 42 37 12 12, lokal 2268/2269
Telex 43116, Telefax 46 75 56 27**

**ISBN 87-550-1659-6
ISSN 0418-6435**